

**RESPUESTA DE AGROPIRO ALARGADO (THINOPYRUM PONTICUM) A LA  
DENSIDAD DE SIEMBRA Y AL ARREGLO ESPACIAL: DESARROLLO DEL ÁREA  
FOLIAR, ESTRUCTURA POBLACIONAL E INTERCEPCIÓN LUMÍNICA EN EL AÑO  
DE IMPLANTACIÓN.**

**NICOLAS BERTRAM**

Trabajo de tesis presentado como requisito parcial para optar al título de

**MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCION ANIMAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR  
DEL PLATA**

Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología  
Agropecuaria.

Balcarce, Argentina

Junio de 2008

**RESPUESTA DE AGROPIRO ALARGADO (THINOPYRUM PONTICUM) A LA  
DENSIDAD DE SIEMBRA Y AL ARREGLO ESPACIAL: DESARROLLO DEL ÁREA  
FOLIAR, ESTRUCTURA POBLACIONAL E INTERCEPCIÓN LUMÍNICA EN EL AÑO  
DE IMPLANTACIÓN.**

**NICOLAS BERTRAM**

**Comité Consejero:**

---

Director de Tesis: Ing. Agr. Mónica Agnusdei.

---

Asesor: Ing. Agr. Jorge Castaño

**RESPUESTA DE AGROPIRO ALARGADO (THINOPYRUM PONTICUM) A LA  
DENSIDAD DE SIEMBRA Y AL ARREGLO ESPACIAL: DESARROLLO DEL ÁREA  
FOLIAR, ESTRUCTURA POBLACIONAL E INTERCEPCIÓN LUMÍNICA EN EL AÑO  
DE IMPLANTACIÓN.**

**NICOLAS BERTRAM**

**Aprobada por:**

---

Director de Tesis: Ing. Agr. Mónica Agnusdei.

---

Evaluador externo:

## DEDICATORIA

A todos que me aguantaron en esta cruzada y a los que me seguirán aguantado y a los que hicieron posible mi paso por Balcarce.

“Nada que se consiga sin pena y sin trabajo es verdaderamente valioso”

*Addison*

## AGRADECIMIENTOS

Buscando hacer una rápida revisión mental de a quien agradecer, es como si los dos años y chirola que pasé en Balcarce pasaran en un segundo, entonces para no olvidarme de nadie, no voy a hacer más preámbulo.

A Mónica, por todo el legado, el esfuerzo y el cariño que le puso a este trabajo y a mi formación.

A Jorge, por sus aportes, por su buena predisposición, por transmitir siempre tranquilidad y buena onda.

A Adriana por su colaboración con SAS (programa maula si los hay) y por su buen trato.

A Cachi (por las lindas caminatas) y a Cangí (por los ricos asados) y a ambos por su amistad y buenos consejos.

Al Lobo, por su buena predisposición al momento de aconsejar o mirar datos y tener que leer y corregir el bodrio de la revisión bibliográfica.

A la “office solution’s”, de la cual me llevo cuatro amigos, Ventro, Yaca, Lupa y Cone, quienes hicieron muy llevaderas las horas de chinchorro.

A mi concubino y amigo oriental, Uru, un tipazo bo, con quien nos tomamos unos cuantos mates con la caldera, que nunca probé por que siempre estaba tapado (yerba uruguaya vio).

A los Tatus, (Jor y Marquitos) por su amistad y por hacerme padrino de Viki... y también con esos padres... tenían que safar por lo menos con el padrino

A Coci, siempre con buena onda y suministrando fruta a más no poder. Gracias por toda la alimentación (y gracias también a la Momia).

A la guardia contemporánea, Mechi, Lore, Zimmervet, Arankis, Lili, Luciana, el tío, el niño, el Cazón, no mejor al Cazón no, bueno esta bien. A la vieja guardia, Agus, Gabi, Jorge. A la nueva guardia, Pome, Fran, Demian, Carlos, Pablo, Anita, Martíncho, a todos ellos por la buena onda y por no discriminarme, excepto Pome.

A las chicas y los muchachos y de pastura, Marta, Ale, Josecito, Oscar, Tito, Quico y Martincho, por incluirnos siempre y por su afectuoso trato.

A la flia Petis (Delfi, Gustavo y ....??), no por estar al final el agradecimiento es menos importante, por su afecto y amistad.

## INDICE GENERAL

Índice de Cuadros	viii
Índice de Figuras	ix
Listado de Abreviaturas	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
1. Introducción	1
1.1 Hipótesis	3
2. Revisión bibliográfica	5
2.1 Características generales de la especie en estudio	5
2.2 Implantación y establecimiento de una pastura	6
2.3 Interacción planta-planta: distribución de individuos en el espacio y disponibilidad de recursos	9
2.4 Arreglo espacial de plantas	12
2.4.1 Distribución y espaciamiento entre líneas	13
2.4.2 Densidad de siembra	17
3. Materiales y Métodos	20
3.1 Sitio y periodo experimental	20
3.2 Condiciones climáticas	20
3.3 Suelo y vegetación	22
3.4 Tratamientos	23
3.4.1 Fecha y métodos de siembra	23
3.4.2 Fertilización	23
3.5 Mediciones	24
3.5.1 Densidad de plántulas	24
3.5.2 Biomasa acumulada	24
3.5.3 Componentes estructurales de la biomasa	24

3.5.4	Intercepción de la radiación	25
3.5.5	Demografía de macollos	25
3.5.6	Flujo de tejidos	26
3.6	Diseño experimental	26
3.7	Análisis estadístico	26
4.	Resultados	28
4.1	Condiciones generales	28
4.2	Periodos de establecimiento	31
4.2.1	Establecimiento temprano	31
4.2.2	Establecimiento tardío	32
5.	Discusión	41
5.1	Efecto del diseño y la densidad de siembra sobre la eficiencia de establecimiento durante la etapa temprana.	44
5.2	Efecto del diseño y la densidad de siembra sobre parámetros morfo-fisiológicos y productivos de la pastura durante el establecimiento tardío.	46
6.	Conclusiones	55
7.	Bibliografía	58

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Precipitaciones (mm) del período OIP, histórico (1971-2007), del último quinquenio (2002-2007) y del año de experimentación (2006-2007).	22
<b>Cuadro 2.</b> Análisis de pH, $\text{PO}_4^{-2}$ (ppm), M.O. (%), de los diferentes tapices de suelo: de gramón ( <i>Cynodon dactylon</i> (L) Pers) y de pelo de chanco ( <i>Dicticlis spicata</i> (L) Greene).	23
<b>Cuadro 3.</b> Plántulas establecidas de agropiro alargado ( <i>Thinopyrum ponticum</i> ) en el periodo de establecimiento temprano y % de logro para los distintos tratamientos.	33



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. A.</b> Evolución de la temperatura media diaria (°C) y precipitaciones (mm) en el período OIP 2006.	21
<b>Figura 1. B.</b> Balance hídrico (mm) y precipitaciones (mm) en el período OIP 2006.	21
<b>Figura 2. A.</b> Tasa de elongación foliar (TEF mm.macollo <sup>-1</sup> .día <sup>-1</sup> ) de agropiro alargado ( <i>Thinopyrum ponticum</i> ) en función del tiempo y de la temperatura media diaria (TMD °C).	30
<b>Figura 2. B.</b> Regresión lineal simple de la relación entre tasa de elongación foliar (TEF mm.macollo <sup>-1</sup> .día <sup>-1</sup> ) y la temperatura media diaria (TMD °C) de macollos de agropiro alargado ( <i>Thinopyrum ponticum</i> ) a lo largo de la etapa de establecimiento tardío.	30
<b>Figura 3.</b> Regresión lineal simple por fecha de medición de la relación entre tasa de elongación foliar (TEF mm.macollo <sup>-1</sup> .día <sup>-1</sup> ) en función de el largo foliar total (LFT mm.planta <sup>-1</sup> ) de macollos de agropiro alargado ( <i>Thinopyrum ponticum</i> ) a lo largo de la etapa de establecimiento tardío.	31
<b>Figura 4.</b> Densidad de individuos de agropiro alargado ( <i>Thinopyrum ponticum</i> ), correspondientes a plántulas.m <sup>-2</sup> o macollos.m <sup>-2</sup> , respectivamente, para los períodos de establecimiento temprano y tardío.	32
<b>Figura 5.</b> Demografía de macollos de agropiro alargado ( <i>Thinopyrum ponticum</i> ), <b>A)</b> aparición y muerte de macollos acumulados y <b>B)</b> balance entre ambos procesos.	34
<b>Figura 6.</b> Evolución del peso por macollo (g.macollo <sup>-1</sup> ) en agropiro alargado ( <i>Thinopyrum ponticum</i> ) durante el período de establecimiento tardío.	36
<b>Figura 7.</b> Evolución del largo foliar total (LFT mm.macollo <sup>-1</sup> ) en agropiro alargado ( <i>Thinopyrum ponticum</i> ) durante el período de establecimiento tardío.	36

- Figura 8.** Relación entre tamaño ( $\text{g.macollo}^{-1}$ ) y densidad ( $\text{macollos.m}^{-2}$ ) de macollos de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío, **A)** para los tratamientos sembrados en línea y **B)** los sembrados en forma cruzada. 37
- Figura 9.** Evolución de la acumulación de biomasa ( $\text{kg MS.ha}^{-1}$ ) de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío. 38
- Figura 10.** Evolución del índice de área foliar de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío. 39
- Figura 11.** Evolución del porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío. 40
- Figura 12.** Relación entre acumulación de biomasa ( $\text{gramos.m}^{-2}$ ) y radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada ( $\text{Mj.m}^{-2}$ ) en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío. 41
- Figura 13.** Distancia entre plántulas y macollos establecidos ( $\text{cm.individuo}^{-1}$ ) de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el periodo de establecimiento temprano y tardío para los distintos tratamientos. 44
- Figura 14.** Evolución completa de la densidad de individuos de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) ( $\text{individuos.m}^{-2}$ ) incluyendo las tendencias calculadas a partir de los datos observados durante las etapas experimentales de establecimiento temprano y tardío (líneas llenas), y las tendencias estimadas para la interfase entre ambas etapas (líneas cortadas, ----). 49
- Figura 15.** Relaciones entre tamaño ( $\log \text{g.macollo}^{-1}$ ) y densidad ( $\log \text{macollos.m}^{-2}$ ) de macollos en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío, para **A)** los tratamientos sembrados en línea y **B)** los sembrados en forma cruzada. 52

**LISTADO DE ABREVIATURAS**

IAF	Índice de área foliar.
RFAi	Radiación fotosintéticamente active interceptada.
EUR	Eficiencia de uso de la radiación.
TM	Temperatura media.
TMD	Temperatura media diaria.
MS	Materia seca.
LFT	Largo foliar total.
TEF	Tasa de elongación foliar.
20Cr	Densidad de 20 kg.ha <sup>-1</sup> sembrados en forma cruzada.
30Cr	Densidad de 30 kg.ha <sup>-1</sup> sembrados en forma cruzada.
40Cr	Densidad de 40 kg.ha <sup>-1</sup> sembrados en forma cruzada.
20Ln	Densidad de 20 kg.ha <sup>-1</sup> sembrados en línea.
30Ln	Densidad de 30 kg.ha <sup>-1</sup> sembrados en línea.
40Ln	Densidad de 40 kg.ha <sup>-1</sup> sembrados en línea.

## RESUMEN

Los estadios iniciales de crecimiento de una pastura son consideradas etapas de gran susceptibilidad, hecho que toma mayor importancia en especies de lento crecimiento inicial y escasa plasticidad morfológica como agropiro alargado (*Thynopiron ponticum*). Ello sumado a las limitaciones para disminuir el espaciamiento entre surcos, existentes en la maquinaria no específica para la siembra de pasturas, hacen que el cierre del entresurco resulte más lento. La densidad de siembra y la variación del diseño de líneas, son herramientas para poder disminuir la competencia intra e inter-específica en estados tempranos de crecimiento, modificando el número de individuos por unidad de superficie, mejorando la implantación de la pastura. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del diseño de las líneas de siembra y la densidad de individuos (arreglo espacial) sobre la producción de forraje durante el período de establecimiento a través de las variaciones en los componentes del rendimiento (densidad y tamaño de macollos) y de los procesos morfogénéticos (TEF, tasas de aparición y muerte de macollos) que los determinan. Adicionalmente, mediante un modelo de análisis radiativo, se analizó el efecto de los tratamientos de siembra sobre la captura de la radiación fotosintéticamente activa (RFAi) y sobre la eficiencia de uso de la radiación (EUR). La pastura se sembró el 05-05-06 en un suelo Natracuol típico en la EEA INTA Balcarce (Latitud 37°45', Longitud 58°18'). Los tratamientos constaron de tres densidades de siembra (20-30-40 kg.ha<sup>-1</sup>), dos diseños de siembra (cruzados Cr y en línea Ln) y tres repeticiones. El efecto positivo sobre la densidad poblacional de los tratamientos Cr respecto de los Ln se alcanzó solamente durante la etapa temprana de establecimiento. El mayor número de plantas logradas en esta etapa indicaría que, el primer tratamiento presentó una mayor uniformidad en la distribución individuos que el segundo, reduciendo probablemente la competencia intra-específica por los recursos del ambiente. Posteriormente los resultados de densidad poblacional se revirtieron. Así, los tratamientos Ln presentaron, en general, un mejor comportamiento que los Cr, alcanzando mayores acumulaciones de biomasa acumulada y de IAF. Dicha superioridad resultó explicada principalmente por efecto del diseño de siembra sobre la EUR. Del mismo modo, ambos componentes de la biomasa de forraje (tamaño y densidad de macollos) fueron mayores en los tratamientos Ln, hecho que puede ser favorable para la supervivencia de macollos y para la persistencia de las pasturas.

**Palabras claves:** *Thynopiron ponticum*, establecimiento, espaciamiento entre surcos, densidad de siembra, rendimiento de forraje, componentes de rendimiento.

## ABSTRACT

### RESPONSES FROM TALL WHEATGRASS SEEDING RATE AND THE SPATIAL ARRANGEMENT: DEVELOPMENT OF LEAF AREA, POPULATION STRUCTURE AND INTERCEPTION LIGHT SHOWS YEAR IMPLANT.

The initial stages of growth in a pasture stages are considered high susceptibility, in fact most important species of slow growth and low initial morphological plasticity as tall wheatgrass (*Thynopiron ponticum*). This coupled with limitations to reduce spacing between rows, in no specific machinery for planting pasture, make the closure of row spacing is slower. The seeding rate and rows design of the settlement are tools to reduce the intra and inter-specific competition in early growth, changing the number of individuals per unit area, and thus improve the implementation of the pasture. The aim of this study was to analyze the effect of rows design and the seeding rate of individuals (spatial arrangement) on forage production during the period of establishment through changes in the components of performance (density and size of tiller) and processes morphogenetic (LER, rates of occurrence and death of tiller) that determine. Additionally, through a model of radiative analysis, we examined the effect of sowing treatments on the capture of photosynthetically active radiation (IPAR) and on the efficiency of use of radiation (RUE). The pasture was planted of 05-05-06 in the soil typical Natracuol in the EEA INTA Balcarce (Latitude 37 °45 ', Longitude 58 °18'). Treatments consist of three seeding rate (20-30-40 kg.ha<sup>-1</sup>), two rows spacing (crossed Cr and lines Ln) and three repetitions. The positive effect on the population density of the treatments Cr respect of Ln was reached only during the early stage of establishment. The largest number of plants achieved at this stage indicate that the first treatment introduced greater uniformity in the distribution individuals that the second, probably by reducing intra-specific competition for resources from the environment. Subsequently the results of population density is reversed. Thus, treatments Ln presented in general a better performance than those Cr, reaching higher accumulations of biomass accumulated and LAI. That superiority was explained mainly by planting design effect on the RUE. Similarly, both components of yield forage (density and size of tiller) were higher in treatments Ln, a fact that may be conducive to the survival of tillers and for the persistence of pastures.

**Keywords:** Establishment, tall wheatgrass (*Thynopiron ponticum*), row spacing, seeding rate, spatial arrangement, components of yield forage.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estadios de establecimiento y crecimiento inicial de las pasturas son consideradas etapas de extrema susceptibilidad a cualquier tipo de estrés (Taboada *et al.*, 1998; Scheneiter, 2007), debido al reducido tamaño de las plántulas. En este contexto, el estudio de la implantación de agropiro alargado, especie caracterizada por su lento crecimiento inicial (Mazzanti *et al.*, 1992; Ferrari y Maddaloni, 2001; Castaño, 2005) y escasa plasticidad morfológica (Bertín *et al.*, 1987; Collabelli *et al.*, 1998; Agnusdei y Wade, 2002) es particularmente relevante debido a que se trata de una especie poco estudiada tanto a nivel local como internacional.

Debido a las limitaciones existentes en la maquinaria para variar el espaciamiento entre surcos, el manejo del número de individuos por unidad de superficie a través de la densidad de siembra y la variación del arreglo espacial constituyen los recursos más directos para mejorar la implantación de una pastura y disminuir la competencia intra e inter-específica en estados tempranos de crecimiento (Gardner *et al.*, 1985; Praat, 1995). Diversos estudios muestran que la cercanía entre plantas vecinas podría tener efectos negativos (competencia) y/o positivos (facilitación) (Harper, 1977; Skinner, 2005; Brooker, 2006; Brooker *et al.*, 2008). Esto sugeriría que las modificaciones en la distribución espacial de individuos en la implantación, producto de cambios en la densidad y/o el diseño de siembra, podrían modificar la arquitectura del canopy y, con ello, la interceptación lumínica y la dinámica del crecimiento (Gardner *et al.*, 1985; Parsons, 1988), durante la etapa inicial del ciclo productivo de las pasturas, como también su productividad y persistencia futuras. Esta temática ha sido estudiada con un enfoque distinto para el caso de plantas forrajeras, respecto del que se le dio en cultivos de granos. En el caso de estos últimos, existen numerosos trabajos en los cuales se analizan las respuestas en la cubierta vegetal a partir de modificaciones en el arreglo espacial de las plantas (Hoff y Mederski, 1960;

Duncan, 1984; Duncan, 1986; Gardner *et al.*, 1985; Steiner, 1986; Tetio-Kagho y Gardner, 1988; Teasdale, 1995; Flenet *et al.*, 1996; Andrade *et al.*, 2002; Valentinuz y Tollenaar, 2006). En gran parte de estos se pudo observar que una distribución más uniforme de individuos mejoró la intercepción de radiación, hecho que en la mayoría de los casos se tradujo en incrementos de la producción de tejido foliar y por ende de biomasa. Este comportamiento fue más notorio en especies de reducida plasticidad morfogenética o en aquellas en donde esta fue afectada debido a factores ambientales (Steiner, 1986; Andrade *et al.*, 2002).

Si bien la información existente para especies forrajeras relativa a los factores que afectan la implantación y el establecimiento es abundante (McWilliam *et al.*, 1970; Campbell y Swain, 1973; Sevilla y Fernandez, 1991), la misma ha sido orientada principalmente hacia estudios en los cuales se evaluó el efecto de las mezclas forrajeras (Laskey y Wakefield, 1978; Haynes, 1980; Hoveland *et al.*, 1986; Charlton, 1991), de los sistemas de siembra (Bellotti y Blair a, b y c, 1989; Scheneiter, 2006), de la intersiembra de diferentes especies (Smetham *et al.*, 1995; Colabelli, 1996; Wedderburn *et al.*, 1996; Gettle *et al.*, 1996; Woodman y Lowther, 1998; Colabelli *et al.*, 2002) de rangos de densidades de siembra (Launchbaugh y Owensby, 1970; Scheneiter, 2007) o de tipo y niveles de fertilización (Robinson y Dowling, 1985; Marino *et al.*, 2000), encontrando escasa información específica, respecto de las consecuencias a partir de modificaciones en el arreglo espacial a lo largo de esta etapa. Así, los posibles beneficios de una distribución más uniforme de individuos en dichas fases no quedan demasiado claros. De tal forma, es probable que los resultados positivos esperados para las etapas mencionadas, no se vean reflejados de igual modo entre especies (Praat, 1995; Colabelli *et al.*, 2002; Skinner, 2005), ni entre condiciones ambientales variables (Steiner, 1986; Colabelli *et al.*, 2002; Skinner, 2005). La comprensión de dichos aspectos es clave para diseñar sistemas de siembra

exitosos que contemplen tanto las restricciones ambientales como las características genotípicas de las especies utilizadas.

Hasta lo que se ha revisado, los estudios disponibles sobre siembra de agropiro alargado, especie de baja capacidad de macollaje (Borrajo y Alonso 2004; Agnusdei *et al.*, 2007) y normalmente sembrada en suelos con fuertes limitantes para el crecimiento de las plantas, son escasos (Scheneiter, 2006). El objetivo del presente estudio fue analizar el efecto de la disposición de las líneas de siembra y la densidad de individuos (arreglo espacial) sobre la producción de forraje en el período de establecimiento a través de las variaciones en los componentes del rendimiento (densidad y tamaño de macollos) y de los procesos morfogénéticos (tasa de elongación foliar, tasas de aparición y muerte de macollos) que los determinan. Adicionalmente, mediante un modelo de análisis radiativo, se analizó el efecto de los tratamientos de siembra sobre la captura de la radiación fotosintéticamente activa (RFAi) y sobre la eficiencia de uso de la radiación (EUR).

Como hipótesis general se planteó que agropiro alargado, implantado en un suelo con severas limitantes para el crecimiento vegetal, presentará baja capacidad de compensación entre tamaño y densidad de individuos y, por ende, una distribución espacial más equidistante de los individuos, obtenida a través de modificaciones en la densidad de siembra y en el diseño de las líneas de siembra resultará en una más eficiente implantación y un mejor establecimiento de la pastura. En este contexto, se plantearon las siguientes hipótesis parciales:

*1- El diseño de siembra cruzado presentará mayor densidad de individuos establecidos respecto del diseño de siembra en línea y, a su vez, alcanzará en forma anticipada el IAF crítico, hecho que se asociará con una mayor RFAi, mayor EUR y mayor producción de biomasa.*



*2- El efecto del diseño de siembra se incrementará con el aumento en la densidad de siembra, en variables como: densidad de individuos establecidos, IAF, RFAi y producción de biomasa.*

*3- El aumento en la densidad de siembra determinará incrementos en la densidad de individuos y disminución de su tamaño, los cuales serán insuficientes para compensar el efecto del diseño de siembra sobre la producción de forraje.*

*4- El efecto del aumento en la densidad de individuos y la disminución de su tamaño provocado por el incremento en la densidad de siembra, será menor en el diseño de siembra cruzado respecto del sembrado en línea.*

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Características generales de la especie en estudio

El agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkw. & Dewey), también conocido como grama alargada (Parodi, 1972; Nicora, 1978) y en lengua inglesa como “tall wheatgrass” (Whyte et al., 1959), pertenece a la familia de las gramíneas o Poaceas, subfamilia de las Pooideas, tribu Triticeae (Gould y Shaw, 1992).

Esta especie es originaria de la región del Mediterráneo occidental, Sur de Europa, Península de los Balcanes, Sur de Asia y Asia Menor (Mazzanti *et al.*, 1992), introducida en Argentina en la década del 50 a partir de materiales provenientes de los EEUU (Mazzanti *et al.*, 1992).

Se caracteriza por ser una especie perenne, longeva y de lenta implantación (Mazzanti *et al.*, 1992), muy rústica, capaz de soportar sequías estivales, inundaciones invernales y crecer en suelos de alta salinidad y alcalinidad (Aello, 1979; Gómez *et al.*, 1981; Maas, 1986; Mazzanti *et al.*, 1992; Vogel y Moore, 1998; Borrajo 1998).

Crece activamente en condiciones favorables en primavera, verano y otoño, mientras que en invierno su crecimiento es poco activo por el efecto de las bajas temperaturas (Mazzanti *et al.*, 1992).

Agropiro alargado es una especie que más allá de adaptarse a distinto tipo de condiciones climáticas y edáficas, se ha difundido especialmente en la región pampeana. En 2002 se estimaba una superficie de 357.000 has sembradas con esta especie (Indec, 2007), ocupando por lo general suelos alcalino sódicos y bajos con problemas de drenaje. (Mazzanti et al., 1992; Fernández Grecco et al., 1996).

## 2.2. Implantación y establecimiento de una pastura

Una pastura es una población de plantas herbáceas, caracterizadas por tener un reducido hábito de crecimiento y generar una cobertura relativamente continua del suelo (Hodgson, 1979). Esta población atraviesa por distintos estados de desarrollo, en los cuales sus individuos interactúan en mayor o menor medida intra e inter específicamente a través de procesos de competencia (Harper, 1977; Ong *et al.*, 1978; Ong y Marshall, 1979; Sheldrick, 2000) o facilitación (Bertness y Callaway, 1994; Bertness y Hacker, 1994; Brooker, 2006; Brooker *et al.*, 2008).

La implantación (periodo en el cual se deposita la semilla en la línea de siembra y esta comienza el proceso de inhibición) y el establecimiento (proceso en el cual la plántula ya emergida deja de depender de las reservas seminales y comienza a depender de los asimilados generados a partir de la fotosíntesis) (Harper, 1977, Robson *et al.*, 1988), son etapas claves para el desarrollo futuro de la pastura (McWilliam *et al.*, 1970). El estado de plántula (desde que la semilla germina hasta que esta establecida) es considerado el más crítico dentro del ciclo de vida de las plantas y durante la cual es más susceptible a sufrir daños físicos (causados por virus, bacterias, predadores, excesos o déficit de humedad o de temperatura, etc) (Grime y Curtis, 1976; Fenner, 1985), con la consecuente pérdida de las mismas. Por ello la implantación y el establecimiento son etapas consideradas críticas dentro del periodo productivo de las pasturas (Praat, 1995; Scheneiter, 2006).

La emergencia y supervivencia de las especies sembradas y la composición de la pastura es ampliamente determinada por factores bióticos, abióticos (McWilliam *et al.*, 1970; Sevilla y Fernandez, 1991) y por decisiones de manejo (i.e. método y densidad de siembra, fertilización, régimen de pastoreo, etc.), tomadas durante dicho periodo (Praat, 1995). Una alta tasa de germinación y un rápido crecimiento inicial de las plántulas son requisitos importantes para lograr un establecimiento exitoso (McWilliam *et al.*, 1970).

Es necesario aclarar que existe diferencia entre el establecimiento de una plántula y el de una pastura. En cuanto al establecimiento de una plántula, Fenner (1987) define que tiene comienzo con la germinación de la semilla y finaliza con el cese de la movilización de reservas seminales, entonces, recién ahí se convierte en una planta establecida. El crecimiento de la plántula cuando aún no emergió es totalmente dependiente de las reservas del endosperma, las cuales varían según el tamaño de la semilla (McWilliam *et al.*, 1970). Otros como Whalley y colaboradores (1966) afirman que el desarrollo de las plántulas transcurre por tres estados, un estado heterotrófico, uno de transición y uno autotrófico. Cuando la plántula alcanza este último estado (no posea más reservas en la semilla) se la considerará completamente establecida (Ries y Svejcar, 1991). Una plántula puede considerarse establecida cuando su tasa de asimilación neta es positiva. Esto representaría “el comienzo del incremento en peso seco con independencia de las reservas de la semilla” (Sagar y Mortimer, 1976). Este momento coincidirá con el desarrollo de una superficie fotosintética suficiente para lograr sobrevivir y crecer (Harper, 1977; Robson *et al.*, 1988). Por otro lado hay quienes sostienen que las plántulas de gramíneas pueden ser consideradas establecidas cuando estas desarrollen el suficiente sistema radical (muchos autores consideran que la planta se ha establecido cuando comienza el crecimiento de raíces adventicias, que son más gruesas que las seminales) para poder asegurar que la superficie fotosintética reciba la suficiente cantidad de agua y nutrientes (Asher y Ozanne, 1966; Tadmor y Cohen, 1968; Robson *et al.*, 1988; Ries y Svejcar, 1991).

Respecto a lo que se entiende por establecimiento de una pastura, algunos autores (Bellotti y Blair 1989c) consideran que este podría ir más allá del punto en el cual las plántulas dejan de depender de las reservas seminales como fuente de energía principal o en el cual comienzan a depender en mayor medida de su superficie fotosintética. Los autores evidenciaron que el periodo referente al establecimiento de

una pastura no solo involucraba a la germinación, emergencia y temprano establecimiento, debido a que las plántulas tuvieron una alta mortalidad y consecuentemente no pudieron estabilizar su población. Debido a ello divide al establecimiento de una pastura en tres periodos, la germinación de la semilla, la emergencia de las plántulas y la supervivencia de las plántulas con posterior contribución a la producción de pastura (Bellotti y Blair, 1989c).

El éxito en el establecimiento de una pastura es muy dependiente de que se establezca una adecuada población de plantas, afectando la producción total y estacional (Campbell y Kunelius, 1984), controlando la vegetación existente (Kunelius *et al.*, 1982; Ritchie 1986a) y las malezas, especialmente en aquellas pasturas en las que se utilizan especies de lento crecimiento inicial (Bellotti y Blair, 1989a). Por lo cual sería deseable para lograr un buen establecimiento y así generar una rápida implantación y cobertura del suelo, hecho que frecuentemente es difícil de lograr debido a que el distanciamiento entre líneas no permite alcanzar dicha meta rápidamente, hasta tanto estas no comiencen a macollar (Launchbaugh y Owensby, 1970).

Algunos autores que trabajaron específicamente en el área de establecimiento de pasturas en suelos no trabajados consideraron a la fase de establecimiento como los primeros 12 meses después de la siembra (Kunelius *et al.*, 1982; Bellotti y Blair, 1989c), luego de lo cual la pastura alcanzaba un equilibrio temporario (Bellotti y Blair, 1989c).

Existen especies que presentan una mayor eficiencia en el proceso de expansión foliar durante la etapa de crecimiento temprano, con lo que logran interceptar una mayor proporción de radiación solar (Praat, 1995). En tal sentido, prácticas agronómicas como fertilizaciones de arranque, manejo de la densidad de siembra, mejor arreglo espacial de las plantas, son utilizadas para acelerar la cobertura del suelo e incrementar la intercepción de luz (Gardner *et al.*, 1985).

La implantación y el establecimiento temprano de pasturas templadas para la región de la pampa húmeda habitualmente tiene lugar en otoño, época en la cual las lluvias por lo general son más frecuentes (Scheneiter, 2007). Este hecho toma mayor trascendencia en los suelos bajos con limitaciones de drenaje donde generalmente se encuentra agropiro alargado (Mazzanti *et al.*, 1992; Fernández Grecco *et al.*, 1996), sumado a que esta se caracteriza por ser una especie de lento crecimiento inicial (Mazzanti *et al.*, 1992; Ferrari y Maddaloni, 2001; Castaño, 2005). En tal sentido, estos aspectos deberían estar más presentes, sobre todo, en etapas como la implantación y el establecimiento temprano de una pastura, momentos en donde la misma presenta una mayor sensibilidad.

### **2.3. Interacción planta-planta: distribución de individuos en el espacio y disponibilidad de recursos**

La presencia de vecinos cercanos puede tener efectos negativos y/o positivos, los cuales son descriptos en la bibliografía como competencia y facilitación respectivamente (Harper, 1977; Brooker, 2006; Brooker *et al.*, 2008).

La competencia se da cuando existe una demanda común planteada por dos o más organismos de recursos ambientales escasos (luz, agua y nutrientes). La investigación indica que la competencia intraespecífica suele ser más intensa que la interespecífica (Harper, 1977; Sletvold, 2005), debido a que dentro de la misma especie la similitud de requerimientos es mayor que entre especies (Harper, 1977). Así, la intensidad de la competencia intraespecífica depende de la densidad de población, actuando este último como un importante factor regulador de las poblaciones. Una de las principales interacciones biológicas durante la emergencia y el establecimiento de la pastura es la competencia entre plantas vecinas (Fenner, 1985).

La distancia entre individuos, el tamaño de los mismos, el de sus vecinos más próximos y las tasas de crecimiento, sumados a las características del ambiente, son factores que determinarán el nivel de competencia que se alcanzará dentro de una comunidad vegetal (Harper, 1977; Duncan, 1984; Skinner, 2005).

La cercanía entre dos plantas modifica no solo su propio ambiente, sino también el de las demás plantas vecinas, afectando su crecimiento y morfología (Harper, 1977). El crecimiento y morfología de las plantas es afectado por la competencia entre vecinos y la magnitud de dicho efecto depende de las características del medioambiente y de la cercanía de sus vecinos (Harper, 1977; Duncan, 1984). Por lo general se encuentra una relación negativa entre la tasa de mortalidad y la distancia entre vecinos cercanos, lo cual afecta en forma directa a la supervivencia de individuos en la pastura (Skinner, 2005).

Frente a aumentos en la densidad de individuos la interacción entre estos se incrementa y su capacidad de crecimiento depende, no solo de su tamaño o área foliar (Ford, 1975; Weiner *et al.*, 1990; Weiner y Thomas, 1992; Hara, 1992), sino también de su tamaño relativo al de las demás plantas vecinas (Ford and Diggle, 1981; Benjamín, 1988). Los individuos de mayor tamaño están más favorecidos para interceptar una mayor proporción de recursos por unidad de materia seca (Ong, 1978; Ford and Diggle, 1981) y pueden dar origen a un patrón de dominancia-supresión (White y Harper, 1970).

Como consecuencia de la competencia, la tasa de crecimiento relativo es mayor en individuos de mayor tamaño, lo que compromete la supervivencia de individuos de menor tamaño, independientemente de la edad y la posición de los individuos (Ong, 1978). Los modelos y experiencias realizados por Ross (1968 citado por Harper 1977) sugirieron que el tiempo de emergencia de las plántulas en una población (o su velocidad de emergencia) fue más importante que su posición relativa.

El lugar que un individuo ocupa dentro de una jerarquía en una población de plántulas, parece estar ampliamente determinado en estadios muy tempranos de desarrollo. El peso individual de una planta es función de su a) capital inicial (peso del embrión + alguna fracción de las reservas del endosperma), b) las tasas de crecimiento relativo del genotipo en el ambiente, c) el tiempo en el cual este crece a la misma tasa, d) restricciones sobre la tasa o el tiempo de crecimiento impuesto por la presencia del carácter y el arreglo de los vecinos en la población (Harper, 1977).

El tamaño que los macollos alcancen en el periodo que va desde la implantación hasta que la pastura está establecida y la competencia intra e interespecífica son aspectos muy importantes para la supervivencia de estos y para el logro de una pastura productiva. Los macollos de menor tamaño o jóvenes, sin influir la posición que ocupan, tienden a morir primero cuando la planta atraviesa por un periodo de estrés (Ong, 1978; Ong y Marshall, 1979; Sletvold, 2005). Las plantas y macollos por debajo de la canopia podrían tener un balance de carbono negativo y es probable que mueran (Spiertz and Ellen, 1972; Ong y Marshall, 1979), aquellos macollos que no poseen suficiente área foliar para fotosintetizar ni raíces para mantenerla, son completamente dependientes de las raíces del macollo padre, del agua y los nutrientes que este pueda aportarle (Tadmor y Cohen, 1968; Harper, 1977; Ong, 1978; Ries y Svejcar, 1991).

Por otro lado hay quienes demostraron que la cercanía de vecinos pudo alterar de manera favorable la interacción entre plantas influyendo en las condiciones ambientales incluyendo luz, temperatura, humedad del suelo y contenido de nutrientes (Callaway, 1995). Skinner (2005) encontró una mayor supervivencia de individuos para raigrás perenne en condiciones de sequía, cuando los vecinos estaban a 1 cm. de distancia que cuando estaban a 3 o 4 cm. El sombreado induce al cierre estomático y esto podría mejorar el estatus hídrico reduciendo la transpiración. Una mejoría en la relación planta-agua podría tener efectos benéficos solo si estos beneficios exceden



los costos para fotosintetizar. Cuando las plántulas están separadas a escasa distancia el sombreado sobre la superficie del suelo o sobre las hojas de estas plántulas, podría reducir la evaporación (Bertness y Hacker, 1994), mejorando el estatus hídrico del ambiente. Existen casos en donde el sombreado en condiciones de sequía pudo haber tenido un efecto positivo disminuyendo la respiración, la fotosíntesis y por ende la pérdida de agua de las plantas (Shumway, 2000; Holmgren, 2000; Skinner, 2005).

El manejo del número de individuos por unidad de superficie es uno de los recursos más utilizados para mejorar la implantación de una pastura y disminuir la competencia intra e inter-específica en estados tempranos de crecimiento, debido a las limitaciones existentes en la maquinaria para variar el espaciamiento entre surcos (Praat, 1995), la herramienta de la que se dispone para hacer esto efectivo es la densidad de siembra. A esta herramienta se le puede agregar la variación del arreglo espacial de los surcos de siembra (cambiando la distancia entre estos o superponiéndolos mediante el cruce de los mismos).

#### **2.4. Arreglo espacial de plantas**

Se denomina “*arreglo espacial*” a la disposición de los individuos (plantas o semillas) en una superficie. Es posible arribar a distintos *arreglos espaciales* a través de modificaciones en el distanciamiento entre líneas de siembra o cambiando su disposición en el terreno, a ello se le puede sumar la variación que se logra a partir de las distintas densidades de siembra (Gardner *et al.*, 1985; Praat, 1995).

El objetivo es lograr una disminución de la competencia intraespecífica para que la pastura se establezca lo antes posible, alcanzando rápidamente su IAF crítico, cubriendo la superficie del suelo, incrementando la intercepción de luz y disminuyendo la competencia con malezas, para lo cual se debe hallar el *arreglo espacial* óptimo (Gardner *et al.*, 1985), que dependerá de la estación de crecimiento, la especie o

cultivar y la disponibilidad de agua (Alessi *et al.*, 1977; Smith *et al.*, 1981; Marshall y Ohm, 1987).

Hoff y Mederski (1960) teorizaban para el cultivo de maíz, que los patrones de siembra, con mayor equidistancia podrían reducir la competencia entre raíces de plantas adyacentes por agua y nutrientes y así incrementar el rendimiento de grano. La implantación en forma de cuadrícula es una forma de siembra que podría alcanzar la mínima interferencia entre vecinos y con ello presumiblemente lograr los máximos rendimientos por planta y por unidad de área. Sin embargo esto no es siempre así (Donald, 1963)

Este ha sido un tema revisado por muchos autores para los cultivos de grano (Hoff y Mederski, 1960; Duncan, 1984; Duncan, 1986; Gardner *et al.*, 1985; Steiner, 1986; Tetio-Kagho y Gardner, 1988; Egli, 1994; Teasdale, 1995; Flénet *et al.*, 1996; Andrade *et al.*, 2002; Calviño *et al.*, 2004; Sharratt y McWilliams, 2005; Valentinuz y Tollenaar, 2006), con el enfoque de arreglo espacial, no siendo tan numerosa la información en este sentido para el caso de forrajeras (Kilcher *et al.*, 1976; Bitzer and Bruening, 1997; Jefferson y Kielly, 1998; Praat, 1995; Colabelli *et al.*, 2002; Gargajo y Adúriz, 2004; Ojuez y Siolotto, 2006) y menos aún para agropiro alargado.

#### **2.4.1. Distribución y espaciamiento entre hileras**

##### ***Especies para producción de granos***

La distinta disposición de las hileras en el terreno, en cultivos para grano, ha sido mucho más estudiada y por lo general se obtiene modificando la distancia entre hileras (Hoff y Mederski, 1960; Duncan, 1984; Duncan, 1986; Gardner *et al.*, 1985; Steiner, 1986; Tetio-Kagho y Gardner, 1988; Egli, 1994; Teasdale, 1995; Flénet *et al.*, 1996; Andrade *et al.*, 2002; Calviño *et al.*, 2004; Sharratt y McWilliams, 2005; Valentinuz y Tollenaar, 2006), efecto que es fácilmente alcanzable con el tipo de sembradoras que se utilizan para la siembra de los mismos.

A medida que la distancia entre hileras aumenta, las semillas están más cerca dentro de la hilera para una misma densidad (Andrade *et al.*, 2002), con lo cual la competencia intra-específica comienza en estadios más tempranos (Gardner *et al.*, 1985). Flénet *et al.*, (1996) observaron que disminuyendo la distancia entre surcos disminuyó el valor de IAF necesario para alcanzar un 95% intercepción de la radiación fotosintéticamente activa. Así, se observó que una disminución en el espacio entre hileras o una distribución más equidistante (Andrade *et al.*, 2002) disminuiría o retrasaría la competencia intra-específica por agua, nutrientes, incrementando la intercepción de la radiación y la producción de biomasa (Shibles y Weber, 1966; Gardner *et al.*, 1985; Bullock *et al.*, 1988; Andrade *et al.*, 2002; Calviño *et al.*, 2004).

Los cultivos al atravesar por situaciones de estrés a lo largo de su crecimiento (deficiencias de agua o nutrientes) pueden presentar situaciones de baja cobertura de follaje debido a que las sequías y deficiencias nutricionales afectan directamente la expansión foliar (Durand *et al.*, 1995; Trapani y Hall, 1996; Salah y Tardieu, 1997; Munns, 2002), inconvenientes de este tipo, pueden llevar a que la canopia no intercepte adecuadamente la radiación necesaria en momentos críticos para la determinación del rendimiento, en dichos casos es posible esperar mejoras en el rendimiento con disminuciones en el espacio entre hileras (Andrade *et al.*, 2002).

Se ha visto que para el caso de girasol, el mayor crecimiento logrado a partir de una reducción de espacio entre surcos en etapas tempranas del cultivo, podría reducir el agua del suelo e incrementar la probabilidad de que el cultivo atravesase por estados de deficiencias hídricas (Vijayalakshmi *et al.*, 1975; Zaffaroni y Schneiter, 1989). Similar efecto fue registrado para el cultivo de sorgo, obteniendo una mayor evapotranspiración en los surcos que estaban sembrados más cercanos que en los más distantes, sobre todo en el periodo que va desde emergencia hasta antesis (Steiner, 1986). Por ello el acercamiento entre surcos con el objetivo de lograr una mayor equidistancia, maximizar la captura de luz y así incrementar el crecimiento del

cultivo, no es practicable en todas las especies, ni para todas las condiciones ambientales. Así se vio que para zonas semiáridas o bajo condiciones de secano, esta práctica aumenta la pérdida de agua, siendo perjudicial para el rendimiento del cultivo (Vijayalakshmi *et al.*, 1975; Steiner, 1986; Zaffaroni y Schneiter, 1989).

Por otro lado, cuando la capacidad de compensación de las especies es limitada por sus características propias o debido a factores ambientales el acercamiento entre hileras en general resulta beneficioso. Adelantamientos en la fecha de siembra de maíz o retrasos de la fecha de siembra de soja (condiciones en las cuales la expansión foliar se ve limitada), podrían ser corregidos con disminuciones en el espaciamiento entre surcos (Andrade *et al.*, 1996).

Hasta lo revisado, para cultivos de grano existe una gran variabilidad de respuestas de la biomasa producida o rendimiento, cuando se mejora la equidistancia de las plantas (Steiner, 1986; Andrade *et al.*, 2002; Calviño *et al.*, 2004).

### ***Especies para producción de forraje***

Para el caso de especies forrajeras exceptuando verdeos de verano, los que podrían recibir el mismo tratamiento que los cultivos de grano (maíz, sorgo forrajero, etc.), la reducción del espaciamiento entre hileras, resulta más complejo. La maquinaria con la cual se suelen sembrar las pasturas, no es específica para esta labor, por lo general se utilizan sembradoras de grano fino, las que comúnmente tienen un espaciamiento entre hileras cercano a los 20 cm (Praat, 1995), excesivo para que estas puedan cerrar el entresurco en un lapso de tiempo reducido, además de favorecer la competencia intra-específica que se produce dentro de la línea por recursos (Gardner *et al.*, 1985; Colabelli *et al.*, 2002). Inconveniente que se agravaría si las especies a implantar fuesen de crecimiento lento y con reducida capacidad de macollaje.

Manteniendo una densidad de siembra, la modificación del espacio entre surcos determinaría situaciones de diferente grado de control de la competencia intra-específica e inter-específica (Gardner *et al.*, 1985). Con un mayor distanciamiento entre hileras, se logra una menor uniformidad en el espaciamiento entre plantas, con lo cual la competencia intra-específica dentro de la línea de siembra, se producirá anticipadamente (Gardner *et al.*, 1985; Colabelli *et al.*, 2002). Por otro lado reducciones en el distanciamiento entre hileras para altas densidades de plantas asegura un desarrollo más rápido del canopeo y una menor competencia de malezas con el cultivo (Bitzer y Bruening, 1997).

En estudios realizados en la región, en leguminosas (*Trifolium pratensis*, *Medicago sativa*), se observó que para siembras realizadas a fines de invierno, los tratamientos que presentaron menor espaciamiento entre líneas alcanzaron mayores valores de IAF, con similar densidad poblacional de individuos, respecto de aquellas con mayor espaciamiento entre líneas (Colabelli *et al.*, 2002). Así el menor espaciamiento entre líneas originó individuos de mayor tamaño, posiblemente debido a la presencia de un menor número de individuos en la línea, una menor competencia intraespecífica, lo cual habría determinado un mayor crecimiento individual.

Modificaciones en el arreglo espacial realizado en gramíneas, mostraron un efecto diferencial según la capacidad de macollaje de la especie. Así, para especies con distinta capacidad de macollaje como raigrás perenne (mayor macollaje) y festuca alta (menor macollaje) (Praat, 1995; Collabelli *et al.*, 1998; Agnusdei y Wade, 2002), se hallaron efectos del arreglo de siembra solamente en aquella que presentó menor capacidad de macollaje cuando se redujo el espaciamiento entre surcos, hecho que no ocurrió en el caso de raigrás perenne. De esta manera cuando se redujo el espaciamiento entre hileras a la mitad (7,5 cm) el establecimiento de festuca alta mejoró en términos de producción de forraje como de supresión de malezas (Praat,

1995). Vale aclarar que dichos efectos desaparecieron al cabo de 18 meses después de la siembra.

En general no se encontró una respuesta consistente en el establecimiento de las distintas especies forrajeras cuando se producen modificaciones en el diseño de siembra, excepto bajo determinadas condiciones climáticas de humedad y temperatura (Kilcher *et al.*, 1976; Colabelli *et al.*, 2002; Gargano y Adúriz, 2004), y para algunas especies, de lento crecimiento o de escasa capacidad de macollaje (Praat, 1995).

Las respuestas obtenidas en pasturas intentando disminuir la competencia entre individuos a partir de una mayor equidistancia, al igual que lo observado para cultivos para grano, fueron muy variadas para las distintas especies y condiciones ambientales imperantes (Kilcher *et al.*, 1976; Praat, 1995; Bitzer y Bruening, 1997; Jefferson y Kielly, 1998; Colabelli *et al.*, 2002; Gargano y Adúriz, 2005; Ojuez y Siolotto, 2006).

Quizás este tipo de prácticas al igual que lo observado en cultivos para grano, no sea posible generalizarlas en todos los casos, sino que probablemente se debería determinar en que ambientes, para que especies o cultivares, bajo que condiciones nutricionales y que densidades serían las óptimas para alcanzar un mejor establecimiento de la pastura.

#### **2.4.2. Densidades de siembra**

Dentro de los factores que determinan un establecimiento exitoso de una pastura, la densidad de siembra es un factor de mucha importancia, sobre todo en las primeras etapas de la misma (Scheneiter, 2006). La densidad de plántulas establecidas en la pastura está altamente relacionada con la densidad de siembra (semillas), (Launchbaugh y Owensby, 1970), sin embargo este incremento no es lineal si no que decrece a medida que aumenta la densidad (Harper, 1977; Launchbaugh y Owensby, 1970; Hernández y Lemes, 1989). Esto es debido a que las altas

densidades de siembra incrementan la competencia por recursos (Donald, 1963), sobre todo dentro de la línea de siembra en donde aumenta la cercanía entre vecinos (Harper, 1977).

Los principales factores ambientales que influyen sobre la densidad óptima son: la radiación, la humedad, y la fertilidad de suelo (McWilliam *et al.*, 1970). Así, se observa que la eficiencia de establecimiento (plantas logradas/semillas viables sembradas) disminuye a medida que aumenta la densidad de siembra, ello muestra como la competencia por recursos entre plantas se manifiesta tempranamente, eliminando buena parte de las mismas, en particular en las altas densidades (Hernández y Lemes, 1989). Para varias gramíneas se hallaron relaciones negativas entre el porcentaje de establecimiento y la densidad de siembra (Launchbaugh y Owensby, 1970). Las variaciones en la densidad de siembra son ampliamente compensadas por las variaciones en el crecimiento individual de las plantas, así es frecuente encontrar plantas más chicas a medida que la densidad de siembra aumenta (Kays y Harper, 1974; Harper, 1977; Conti *et al.*, 1983; Hernández y Lemes, 1989).

El rango de densidades óptimas de una gramínea, está dado principalmente por el tamaño que puede alcanzar la planta y su capacidad para macollar (Gardner *et al.*, 1985). Muchos de los trabajos de densidades de siembra muestran relaciones asintóticas en el rendimiento (Launchbaugh y Owensby, 1970; Conti *et al.*, 1983; Hernández y Lemes, 1989; Hernández y Funes 1990), por lo cual una vez alcanzada una cantidad de plantas que permita aprovechar el potencial ambiental, de ahí en más el rendimiento de forraje no se ve incrementado. En general se intenta determinar para todas las especies y para cada ambiente la menor densidad de plantas que ofrezca el máximo rendimiento (Hernández y Lemes, 1989).

Este tema ha sido ampliamente investigado en otras especies y para diversos ambientes, sin embargo para el caso de agropiro alargado, hasta lo revisado no existe información sobre el tema.

El presente trabajo se planteó con la finalidad de examinar si variaciones en el diseño de siembra de agropiro alargado, gramínea de baja plasticidad morfogénica respecto de gramíneas como raigrás perenne (Praat, 1995), mejoran el establecimiento y el uso de recursos del ambiente de las pasturas, tal como sucede en maíz, especie de escasa plasticidad en relación a cultivos como la soja (Andrade *et al.*, 2002). El impacto de este tipo de manipulaciones en la siembra puede aún acentuarse en el caso particular de agropiro alargado dado que, a sus limitaciones intrínsecas, se suman aquellas impuestas por los suelos donde habitualmente se cultiva esta especie.



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

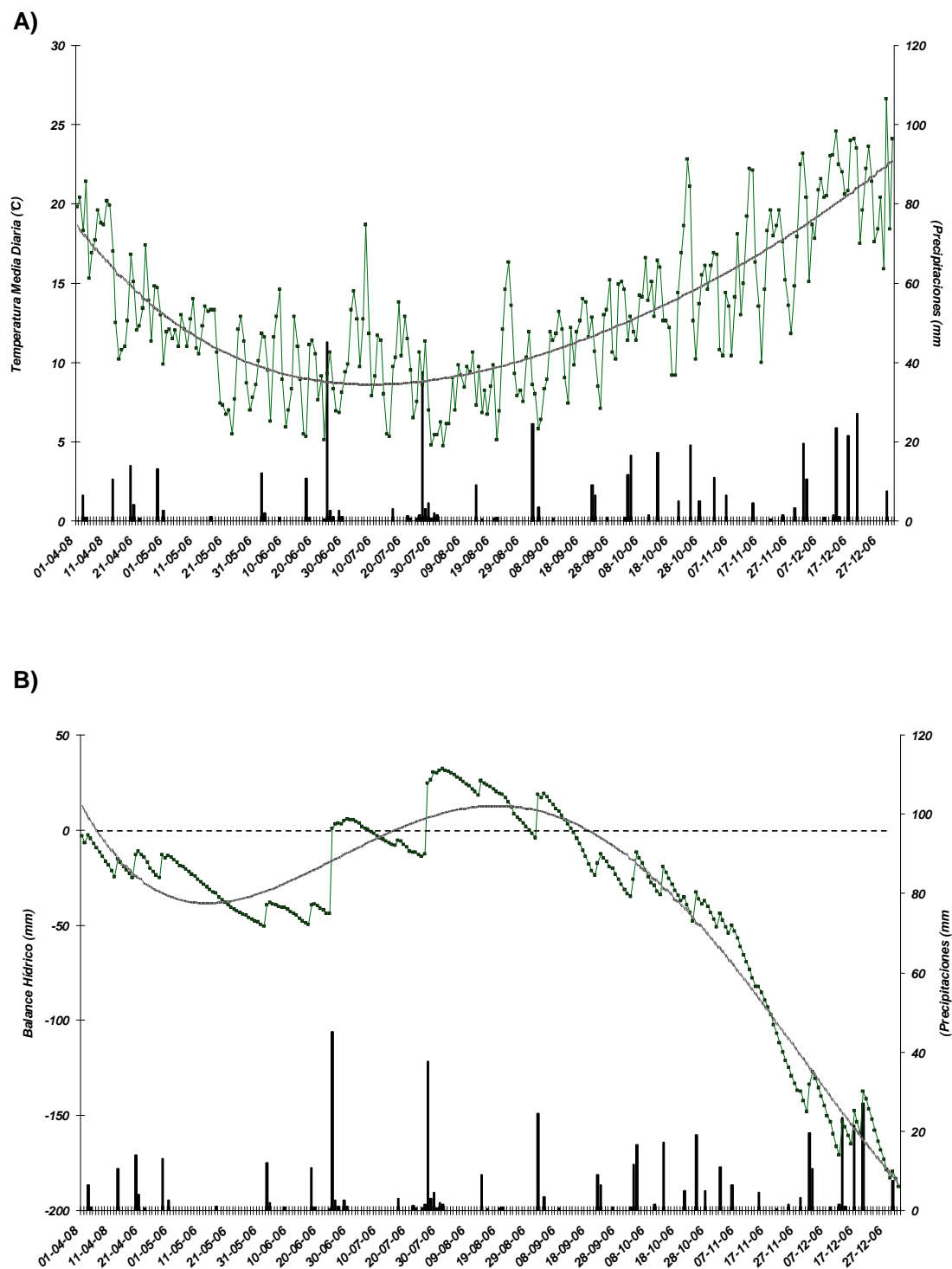
#### 3.1. Sitio y período experimental

El experimento se realizó en la reserva N° 8, perteneciente a la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce (Latitud 37° 45', Longitud 58° 18'). A la superficie destinada para la siembra del ensayo se le realizó un barbecho químico dos meses previos a la siembra, el cual se realizó en dos etapas aplicando una dosis de 3 lts.ha<sup>-1</sup> de glifosato, en cada una de las mismas. El ensayo se sembró con semilla de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkw. & Dewey) cultivar Hulk® (Gentos). El período total de experimentación, correspondiente al establecimiento de la pastura se extendió desde el 04/04/06 hasta el 07/12/06, el cual fue dividido en dos etapas, una de establecimiento temprano, la cual se correspondió con el estadio de plántula de la pastura y se extendió desde el 07/07/06 hasta el 16/08/06 y la denominada etapa de establecimiento tardío correspondió al estado de macollaje del cultivo y abarcó desde el 24/10/06 hasta el 07/12/06, con la finalidad de abarcar distintos períodos iniciales de la vida del cultivo.

#### 3.2. Condiciones climáticas

Las variables climáticas correspondientes al período de experimentación fueron tomadas de la estación meteorológica de la EEA INTA Balcarce, ubicada a 7 Km del sitio experimental.

En la **figura 1A** se presentan la temperatura media diaria y la distribución de las precipitaciones durante el período de experimentación y la **figura 1B** muestra el balance hídrico y la distribución de precipitaciones en el mismo periodo.



**Figura 1: A)** Evolución de la temperatura media diaria (°C) y precipitaciones (mm) en el período OIP 2006 y **B)** Balance hídrico (mm) y precipitaciones (mm) en el mismo período.

Las precipitaciones históricas y de los últimos 5 años en el período OIP (desde el 31/03 hasta el 31/12) fueron un 60% superiores a las del año de experimentación (**Cuadro 1**), el cual mostró diferencias mayores en las etapas de establecimiento temprano y tardío, en relación al periodo OIP, presentando precipitaciones históricas un 75% superiores para la primer etapa y un 97% para la segunda, respecto del año de ensayo.

**Cuadro 1:** Precipitaciones (mm) del período OIP, histórico (1971-2007), del último quinquenio (2002-2007) y del año de experimentación (2006-2007).

Período	1971-2007	2002-2007	2006-2007
<b>Establ. Temprano</b>	165	182	99
<b>Establ. Tardío</b>	191	212	102
<b>Total OIP</b>	<b>651</b>	<b>661</b>	<b>412</b>

El establecimiento temprano, se correspondió con los meses de junio, julio y agosto y el establecimiento tardío con los de octubre y noviembre.

### 3.3. Suelo y vegetación

El tipo de suelo en donde se realizó el ensayo es un Natracuol típico. Se caracteriza por tener un escurrimiento muy lento o estancado, de permeabilidad lenta a impedida. La vegetación predominante es de *Distichlis spicata*, *Hordeum sp.*, *Pusillum sp.*, *Lepidium parodi*, *Sporobolus sp.* y *Cynodon dactylon* Serie 31: Caracterizado como un suelo de la llanura de inundación, esta serie es la más alcalina de las de los suelos bajos. Se halla sobre relieve llano y la vegetación típica esta constituida por *Distichlis sp.* la cual es la gramínea predominante.

El lugar en donde se realizó el ensayo se caracterizó por tener una vegetación predominante de gramón (*Cynodon dactylon* (L) Pers) y pelo de chancho (*Distichlis spicata* (L) Greene), en proporciones similares. Debido a ello se realizó un muestro de suelo a una profundidad de 20 cm en los sitios en donde predominaba el gramón y en

donde abundaba el pelo de chanco, con la finalidad de observar si existían diferencias entre estos (**Cuadro 2**).

**Cuadro 2:** Análisis de pH,  $PO_4^{-2}$  (ppm), M.O. (%), de los diferentes tapices de suelo: de gramón (*Cynodon dactylon* (L) Pers) y de pelo de chanco (*Dicticlis spicata* (L) Greene)

Especies	pH	$PO_4^{-2}$ (ppm)	M.O. (%)
Gramón ( <i>Cynodon dactylon</i> )	9,4	22,3	4,8
Pelo de chanco ( <i>Dicticlis spicata</i> )	9,2	23,3	4,8

### 3.4. Tratamientos

Para el siguiente trabajo de tesis se realizó un ensayo, el cual ocupó una superficie aproximada de 400 m<sup>2</sup>, constó de tres densidades de siembra (20-30-40 kg.ha<sup>-1</sup>, las que representan aproximadamente 280-430-570 semillas.m<sup>-2</sup>), dos arreglos espaciales (cruzado y en línea) y tres repeticiones.

#### 3.4.1. Fecha y métodos de siembra

Se realizó el 05/05/06. Los métodos de siembra con los que se lograron los dos arreglos espaciales fueron:

- "Línea": una pasada simple con la sembradora, con la densidad de siembra correspondiente al tratamiento.
- "Cruzado": una pasada simple con la mitad de la densidad de siembra correspondiente al tratamiento y sobre esta otra pasada a 90° de la primera con la mitad restante de la densidad.

#### 3.4.2. Fertilización

En el momento de la siembra se fertilizó con 140 kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico para asegurar que la cantidad de fósforo no sea limitante para el establecimiento y

crecimiento inicial. El 23/09/06 se fertilizó con  $60 \text{ kg.ha}^{-1}$  de nitrógeno bajo la forma de urea.

### **3.5. Mediciones**

#### **3.5.1. Densidad de plántulas**

Se ubicó al azar 5 áreas de  $0,10 \text{ m}^2$  por parcela en las que se contó el número total de plántulas presentes. En el caso de los tratamientos línea (Ln) la medición se realizó en  $0,40 \text{ m}$  de surco. En los tratamientos sembrados en forma cruzada (Cr) la medición incluyó un segmento de  $0,40 \text{ m}$  y dos, perpendiculares al anterior, de  $0,20 \text{ m}$  cada uno (estas mediciones se realizaron el 07/07, el 27/07 y el 16/08/06).

#### **3.5.2. Biomasa acumulada**

Para las mediciones de biomasa acumulada se identificaron al azar 15 áreas de  $0,20 \times 0,50 \text{ m}$  ( $0,10 \text{ m}^2$ ) las cuales fueron cortadas en forma secuencial, a ras del suelo con tijera eléctrica el 24/10, 01/11, 07/11, 19/11 y 29/11/06 en grupos de 3 sub-muestras por fecha de corte. Las tres sub-muestras obtenidas de cada parcela fueron agrupadas ("pool"), homogeneizadas y pesadas en verde. De dicho "pool" se extrajo una alícuota que fue pesada en verde y luego separada en los siguientes componentes botánicos: agropiro, especies no sembradas y material muerto. Las fracciones fueron secadas en estufa a  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante y pesadas. Los datos obtenidos se utilizaron para estimar la dinámica estacional de acumulación de biomasa y la biomasa total acumulada en el período de crecimiento.

#### **3.5.3. Componentes estructurales de la biomasa**

Se extrajo una segunda alícuota del pool de material mencionado en el punto previo la cual en la cual se determinó: número y peso de macollos, peso de vainas y

láminas. Con esta información se estimó la densidad de macollos por unidad de área y la relación lámina : vaina. Las láminas fueron pasadas por el planímetro (LI 3100, LICOR Inc., Lincoln, Nebraska), con lo cual se obtuvo el dato de área foliar.

#### **3.5.4. Intercepción de la radiación**

Se midió la radiación fotosintéticamente activa mediante una barra medidora de flujo de fotones (ceptómetro - CAVADEVICES) en 5 momentos a lo largo del ciclo de acumulación primaveral de forraje para ambos ensayos (el 24/10, 01/11, 07/11, 19/11 y 29/11/06). Las áreas de medición coincidieron con aquellas en que posteriormente se realizaron los cortes de biomasa acumulada. Las mediciones se realizaron entre las 11:00 y las 13:00 horas en días diáfanos, previo a realizar los cortes correspondientes a las mediciones de biomasa. Sobre el área de medición se colocó la barra en la parte superior de la canopia para establecer la luz que llega al cultivo en dicho punto y al ras del suelo a ambos lados de surco y sobre este para determinar la luz que interceptaba el cultivo.

#### **3.5.5. Demografía de macollos**

Para evaluarla se marcaron tres unidades muestrales dentro de cada parcela, en cada una de estas se marcaron inicialmente seis macollos, tres de los cuales representaban a una generación y otros tres a una generación posterior (generación 1 y generación 2), con lo cual se intentó representar los distintos tamaños de macollos presentes en la pastura. Cada grupo de macollos fue marcado con anillos de distinto color (generación 1 = amarillo y generación 2 = blanco). Semanalmente, desde comienzos de primavera hasta comienzos de verano (25/09, 02/10, 11/10, 17/10, 23/10, 31/10, 09/11, 14/11, 20/11, 30/11 y el 07/12/06), se contó el número de macollos vivos y se registró la aparición y muerte de macollos. Las diferentes cohortes de macollos aparecidos fueron identificadas con anillos plásticos de diferente color.

### **3.5.6. Flujo de tejidos**

Se ubicaron al azar tres unidades muestrales fijas por parcela y en cada una de estas unidades se marcaron tres macollos con anillos de distinto color. Las mediciones de flujo de tejido foliar se realizaron desde comienzos de primavera hasta principios de verano (25/09, 02/10, 11/10, 17/10, 23/10, 31/10, 09/11, 14/11, 20/11 y 30/11/06) para ambos ensayos. Se midió el largo de lámina viva por macollo mediante una regla graduada ubicada desde la lígula hasta el extremo distal en las hojas en crecimiento y adultas o hasta el comienzo del tejido senescente en las hojas más viejas. Las tasas de elongación y de senescencia foliar ( $\text{mm} \cdot \text{macollo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ) se estimaron como las diferencias de las correspondientes variables entre dos fechas sucesivas de medición

### **3.6. Diseño experimental**

Se realizó un diseño experimental de parcelas divididas en donde las densidades de siembra se correspondieron a la parcela principal y el arreglo de siembra a la subparcela.

### **3.7. Análisis estadístico**

Para el procesamiento y análisis de los todos los datos se utilizó el paquete estadístico SAS 9.1 (2007).

Las variables medidas fueron analizadas con un ANVA, utilizando el procedimiento MIXED de SAS. Para la comparación de medias se utilizó el test de Tukey ( $P < 0,05$ ). Como tendencia se consideró un valor de “P” entre 0,05 y 0,15.

El cálculo de los flujos de tejidos se realizó mediante un programa específico en SAS elaborado por el grupo de Producción y Utilización de Pasturas de la Unidad Integrada Balcarce.

Para las comparaciones entre tasas de macollaje o para variables tales como relación tamaño/densidad, TEF/LFT o EUR, se realizaron regresiones lineales y se compararon los coeficientes estimados.



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Condiciones generales

#### *Clima*

Se observó un incremento de la temperatura media diaria entre ambos períodos de establecimiento, con valores promedio de  $8,8 \pm 2,8$  y de  $15,6 \pm 3,3$  para la etapa temprana y tardía, respectivamente (**Figura 1A**). El periodo experimental presentó globalmente bajas lluvias en comparación con la media histórica de los últimos 35 años (**Cuadro 1**). Si consideramos los dos períodos considerados en este experimento (desde 07/07 a 16/08 y desde 24/10 a 29/11 para *establecimiento temprano* y *tardío*, respectivamente), la comparación con la media histórica y del último quinquenio, muestra una relación similar a la encontrada durante todo el periodo OIP. La distribución de las lluvias durante la etapa de *establecimiento temprano* fue regular, con un intervalo mensual promedio entre los tres eventos principales (45, 37 y 25 mm, **Figura 1A**). Durante el *establecimiento tardío* las lluvias se distribuyeron en tres eventos principales (17, 19 y 11 mm, **Figura 1A**), con un intervalo promedio entre ellos de 8 días desde el inicio del período hasta el principio de Noviembre. A partir de ese momento y hasta finalizar la etapa de *establecimiento tardío*, las lluvias fueron despreciables.

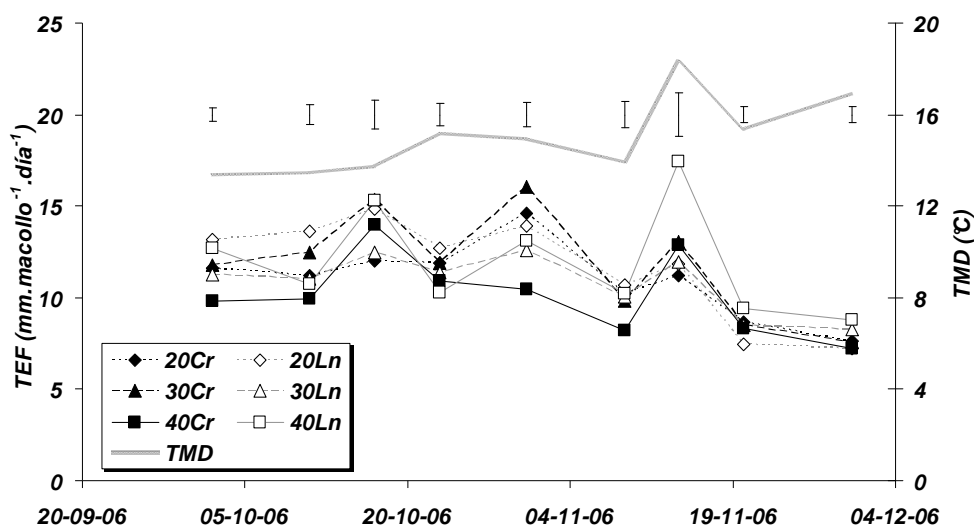
El balance hídrico (**Figura 1B**) mostró una tendencia relativamente estable y con niveles máximos durante el período de establecimiento temprano, cayendo luego hasta el final de la etapa tardía. Dicha caída fue marcada desde inicios de Noviembre.

#### *Tasa de elongación foliar y temperatura*

No se hallaron diferencias significativas en los valores de TEF entre diseños o densidades de siembra a lo largo del periodo de medición. Las diferencias halladas

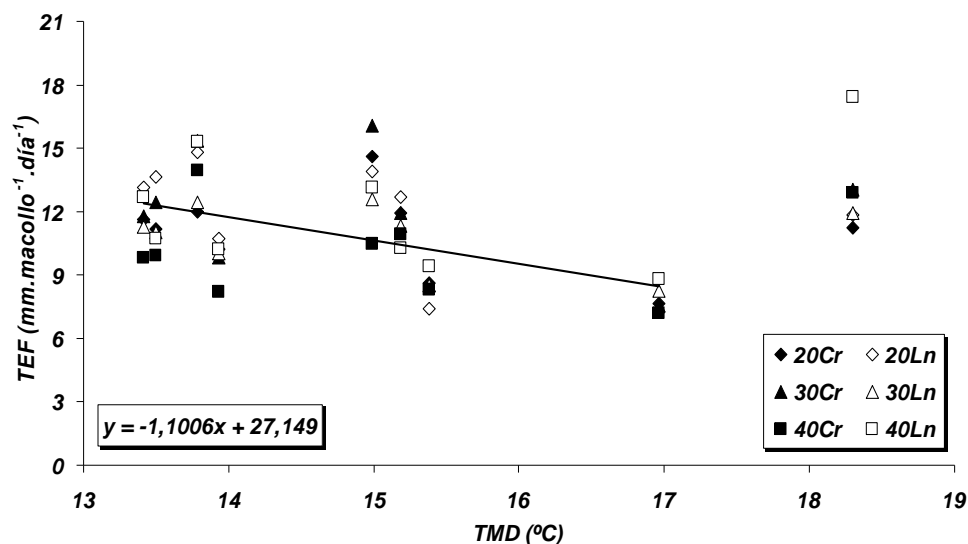
entre fechas, en general, reflejaron fluctuaciones registradas en la temperatura media del aire (**Figura 2A**). La función lineal ajustada a los datos muestra una asociación negativa (**Figura 2B**) que estima una disminución media 1,1 mm en TEF por cada incremento térmico de 1 °C.

La asociación entre la TEF y el largo foliar total por macollo (LFT) fue adecuadamente descrita por funciones lineales a lo largo de todo el período experimental (**Figura 3**). Dicha asociación presentó una caída progresiva de las pendientes, con valores no diferentes de 0 mm.mm<sup>-1</sup> para las fechas 23/10 y 9/11, 20/11 y 30/11/06 (indicadas como F4-6-8-9 en la figura).



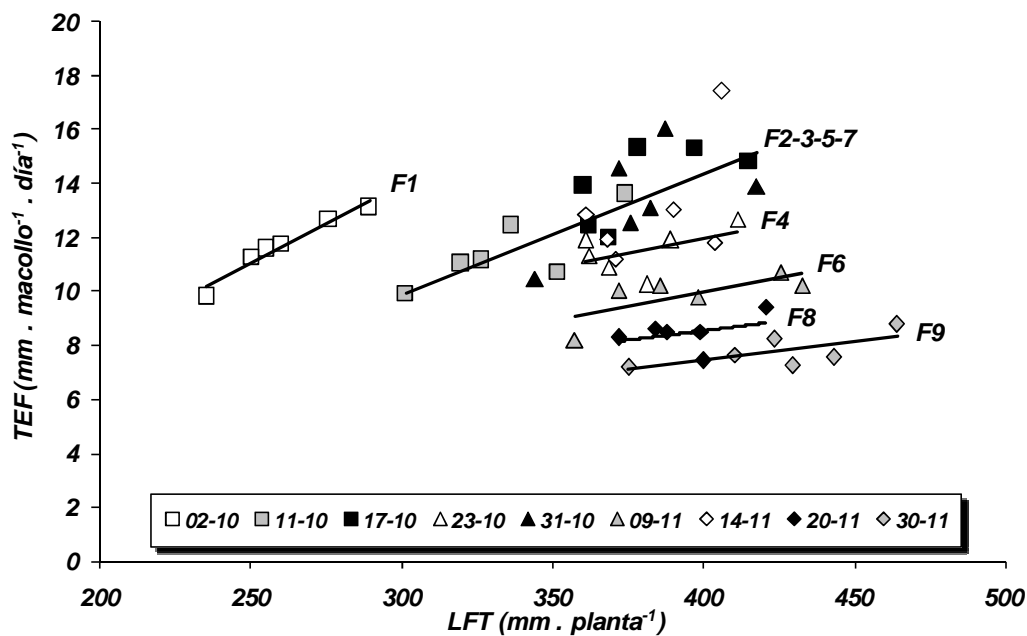
**Figura 2A: Tasa de elongación foliar (TEF mm.macollo<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>) de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) en función del tiempo y de la temperatura media diaria (TMD °C).**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40 kg.ha<sup>-1</sup>. Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra. La línea gris representa la TMD.



**Figura 2B:** Regresión lineal simple de la relación entre tasa de elongación foliar (TEF mm.macollo<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>) y la temperatura media diaria (TMD °C) de macollos de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) a lo largo de la etapa de establecimiento tardío.

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40 kg.ha<sup>-1</sup>. Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. La ecuación de regresión figura en la parte inferior izquierda de la figura.



**Figura 3:** Regresión lineal simple por fecha de medición de la relación entre tasa de elongación foliar (TEF mm.macollo<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>) en función de el largo foliar total (LFT mm.planta<sup>-1</sup>) de macollos de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) a lo largo de la etapa de establecimiento tardío.

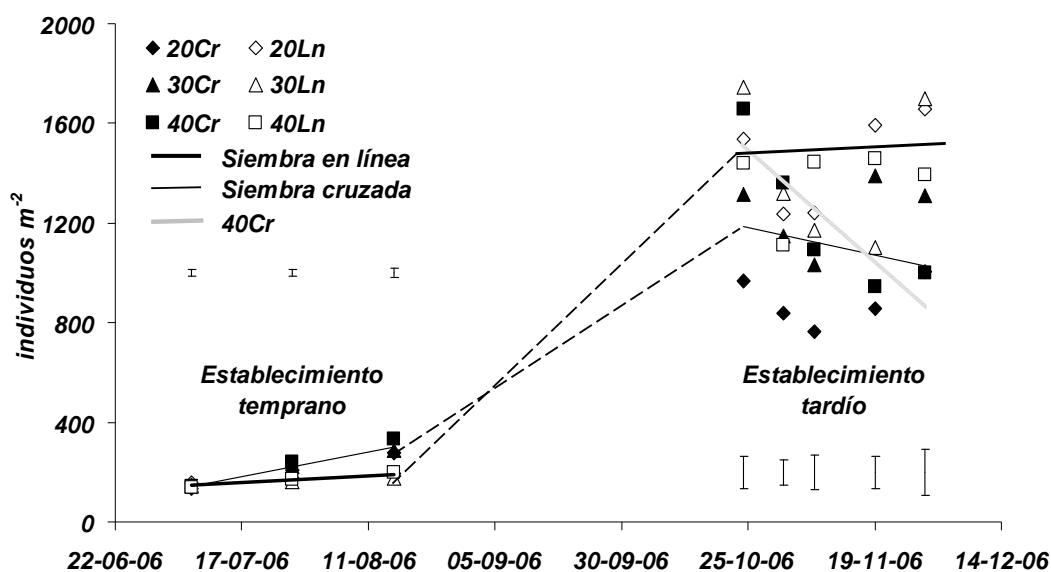
F1 (02/10), F2 (11/10), F3 (17/10), F4 (23/10), F5 (31/10), F6 (9/11), F7 (14/11), F8 (20/11) y F9 (30/11) indican las sucesivas fechas de medición encerradas en el paréntesis.

## 4.2. Períodos de establecimiento

### 4.2.1. Establecimiento temprano

#### Densidad de plántulas

La densidad inicial de plántulas se incrementó significativamente ( $p < 0,0001$ ) a lo largo del *establecimiento temprano*, detectándose diferencias entre diseños de siembra el 27/07 y el 16/08/06 (**Figura 4**). En dichas fechas las densidades fueron  $223 \pm 15,3$  y  $299 \pm 29,5$  plántulas. $m^{-2}$  en los tratamientos sembrados en forma cruzada y  $169 \pm 6,0$  y  $191 \pm 11,9$  plántulas. $m^{-2}$  en los sembrados en línea. La densidad de plántulas no difirió entre densidades de siembra ( $p = 0,6865$ ).



**Figura 4:** Densidad de individuos de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*), correspondientes a plántulas. $m^{-2}$  o macollos. $m^{-2}$ , respectivamente, para los períodos de establecimiento temprano y tardío.

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40  $kg.ha^{-1}$ . Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra. Las líneas punteadas (- - -) representan una unión arbitraria entre el final e inicio de las etapas mencionadas para los arreglos de siembra en línea y cruzado. Durante el período de establecimiento tardío las fechas 24/10, 01/11, 07/11, 19/11 y 29/11/06 correspondieron a sumas térmicas de 886, 970, 1022, 1171 y 1298°C acumuladas desde el 10/06/06, momento en que hubo más del 50% de plántulas establecidas.

La tasa promedio de aparición de plántulas estimada para los tratamientos de siembra cruzada fue de  $3,9 \pm 0,7$  plántulas. $día^{-1}$  y para los de siembra en línea

$1,1 \pm 0,4$  plántulas.día<sup>-1</sup>. Al finalizar dicho periodo la densidad de plántulas de la siembra cruzada fue un 36 % mayor que para la siembra en línea.

La densidad y el arreglo de siembra afectaron el porcentaje de logro (**Cuadro 3**). Los máximos y mínimos porcentajes de logro se registraron, respectivamente, en el tratamiento 20Cr y en los de 30Ln y 40Ln. Dentro de una misma densidad de siembra, los tratamientos sembrados en forma cruzada tuvieron un mayor porcentaje de logro que los sembrados en línea. A su vez, el porcentaje de logro disminuyó con el incremento en la densidad de siembra.

**Cuadro 3: Plántulas establecidas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) en el periodo de establecimiento temprano y % de logro para los distintos tratamientos.**

Tratamiento	Semillas m <sup>-2</sup>	Plántulas logradas m <sup>-2</sup>	% logro
<b>20Cr</b>	286	278 ab	97 a
<b>20Ln</b>	286	193 b	68 ab
<b>30Cr</b>	429	286 ab	67 ab
<b>30Ln</b>	429	178 b	42 b
<b>40Cr</b>	571	333 a	58 ab
<b>40Ln</b>	571	201 b	35 b

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40 kg.ha<sup>-1</sup>. Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Letras diferentes (Tukey,  $P < 0,05$ ), error estándar de la media (e.e.m.) de las plántulas promedio = 38,33 plántulas.m<sup>-2</sup>. Letras diferentes (Tukey, 0,05), error estándar de la media (e.e.m.) del % de logro = 10,15%.

#### 4.2.2. Establecimiento tardío

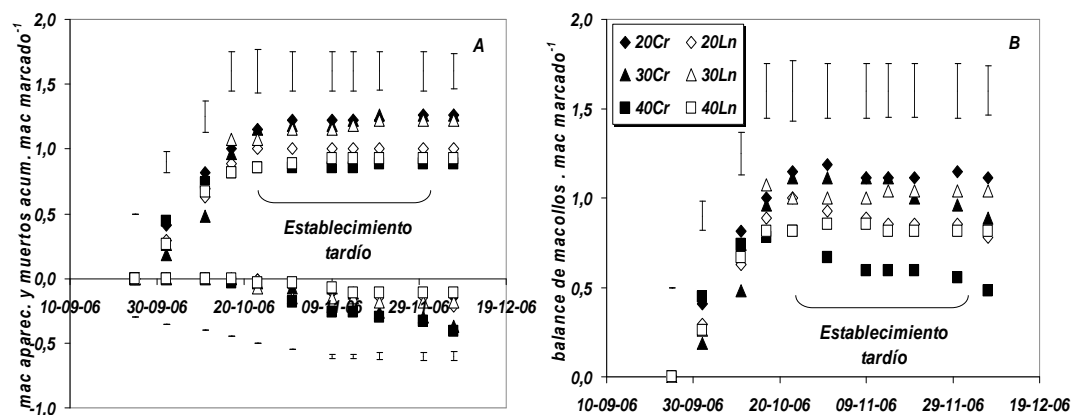
##### Densidad de macollos

No se detectó efecto de densidad de siembra ni interacción con la fecha de muestreo. La densidad de macollos fue significativamente mayor en los tratamientos sembrados en línea respecto de los cruzados ( $p=0,0002$ ), con valores promedio de  $1088 \pm 89$  y  $1422 \pm 89$  macollos m<sup>-2</sup>, respectivamente) (**Figura 4**). La densidad promedio de macollos mostró una tendencia relativamente estable a través del tiempo, aunque los valores individuales presentaron una marcada variabilidad dentro de tratamientos (presentando un desvío estándar promedio entre fechas y entre

tratamientos de 444 macollos.m<sup>-2</sup>). El tratamiento 40Cr, por su parte, mostró una caída significativa en la densidad de macollos a lo largo del período.

### Demografía de macollos

La evolución de la cantidad de macollos aparecidos fue semejante entre tratamientos (**Figura 5A**). Hasta mediados de octubre (17/10) todos los tratamientos tuvieron incrementos significativos en el número de macollos aparecidos por macollo marcado. La tasa promedio de aparición de macollos estimada para esta fase incremental fue de  $1,12 \pm 0,16$  macollo. macollo<sup>-1</sup>.mes<sup>-1</sup>. A partir de la fecha señalada la acumulación de nuevos macollos tendió a estabilizarse, observándose un retraso en alcanzar los niveles máximos o techo en el caso de los tratamientos 20Cr, 30Cr y 30Ln. No se detectaron diferencias asociadas a diseño de siembra en el número máximo de macollos producidos por macollo. En cambio, dicho valor fue mínimo y diferente del resto de las densidades en el caso de los tratamientos 40Cr y 40Ln.



**Figura 5: Demografía de macollos de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*), A) aparición y muerte de macollos acumulados y B) balance entre ambos procesos.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40 kg.ha<sup>-1</sup>. Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra. La llave indica la duración del periodo denominado establecimiento tardío.

En el caso de la mortalidad de macollos, se detectó interacción significativa entre diseño de siembra y fecha de muestreo ( $p=0,004$ ), como también efecto de

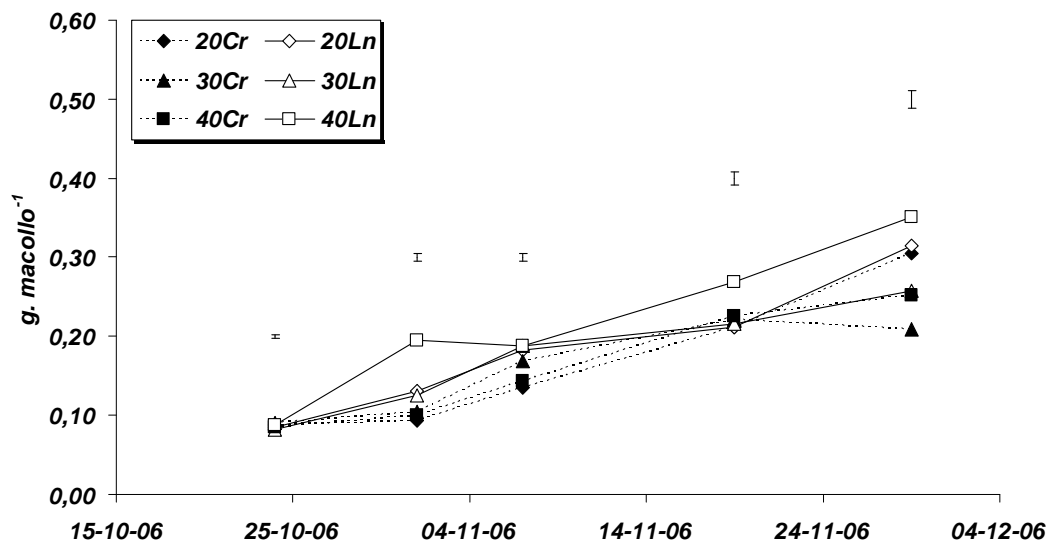
diseño de siembra ( $p=0,0005$ ). La mortalidad se inició en todos los tratamientos aproximadamente en el mismo momento en el que se detuvo la aparición de los mismos (17/10). (**Figura 5A**). Los tratamientos sembrados en forma cruzada presentaron mayor número de macollos muertos que aquellos sembrados en línea, encontrándose diferencias significativas a partir de mediados de noviembre (14/11). Las diferencias encontradas se debieron principalmente a la alta mortalidad presentada por los tratamientos 30Cr y 40Cr. Se pudo observar que los tratamientos de 30Cr y 40Cr tuvieron tasas de muerte numéricamente superiores al resto de los tratamientos ( $-1,8$  y  $-0,75$  macollos.macollo<sup>-1</sup>.mes<sup>-1</sup>, respectivamente). El balance entre aparición y mortalidad de macollos (**Figura 5B**) muestra caídas significativas en el número de macollos vivos por macollo marcado para los tratamientos 30 y 40Cr. Los tratamientos de mayores densidades de siembra (40) presentaron el menor número de macollos vivos por macollo marcado.

### ***Peso por macollo***

El peso final por macollo fue similar entre los tratamientos 40Ln y 20Ln ( $0,34 \pm 0,038$  g.macollo<sup>-1</sup>) y significativamente mayor que el resto ( $0,24 \pm 0,038$  g.macollo<sup>-1</sup>). El peso por macollo se incrementó entre fechas de muestreo en todos los tratamientos, con valores superiores en los tratamientos en línea respecto de los cruzados ( $p=0,0002$ ), no detectándose diferencias significativas entre densidades de siembra ( $p=0,23$ ) (**Figura 6**).

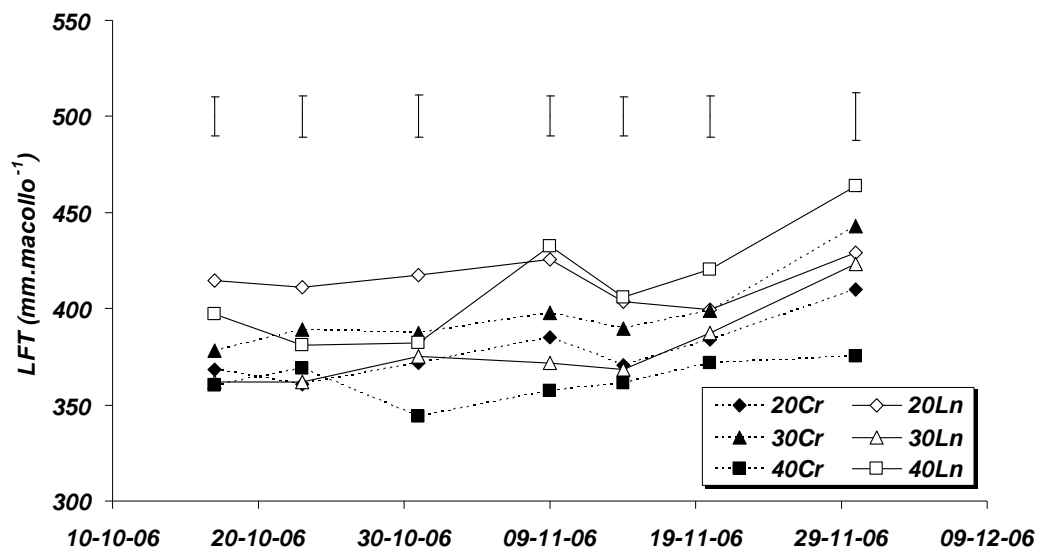
De manera similar a lo observado con el peso por macollo, el LFT mostró diferencias entre arreglos de siembra a lo largo de todo el período de evaluación, presentando los tratamientos sembrados en línea valores superiores de LFT que aquellos sembrados en forma cruzada ( $p=0,0007$ ) (**Figura 7**). Así, centrándose en los valores extremos, se observa que el valor máximo alcanzado para ambas variables

por el tratamiento 40Cr resultó alrededor de 0,20 veces inferior que el alcanzado por los tratamientos 20Ln y 40Ln.



**Figura 6: Evolución del peso por macollo ( $\text{g.macollo}^{-1}$ ) en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40  $\text{kg.ha}^{-1}$ . Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra. Las fechas 24/10, 01/11, 07/11, 19/11 y 29/11/06 correspondieron a sumas térmicas de 886, 970, 1022, 1171 y 1298°C acumuladas desde el 10/06/06, momento en que hubo más del 50% de plántulas establecidas.



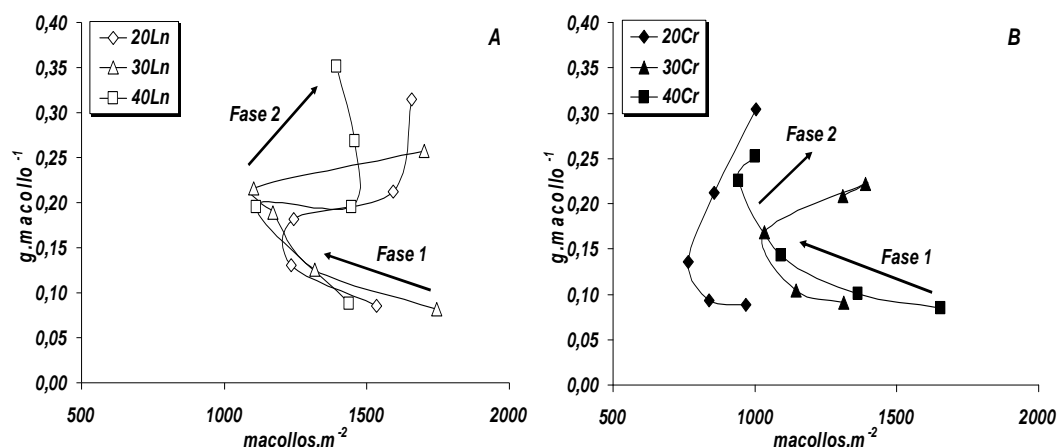
**Figura 7: Evolución del largo foliar total (LFT  $\text{mm.macollo}^{-1}$ ) en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40  $\text{kg.ha}^{-1}$ . Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra. Las fechas 17/10, 23/10, 31/10, 09/11, 14/11, 20/11 y 30/11/06 correspondieron a sumas térmicas de 802, 869, 957, 1047, 1118, 1186 y 1316°C acumuladas desde el 10/06/06, momento en que hubo más del 50% de plántulas establecidas.



### Relación peso – densidad de macollos

La tendencia creciente del peso por macollo presentada previamente (**Figura 6**) se asoció con fases de caída y posterior aumento poblacional (**Figura 8**, los valores de cada tratamiento están unidos por flechas que siguen la secuencia temporal del ensayo). La fase inicial de caída (indicada como “Fase 1” en la **Figura 8**) fue más prolongada en el caso de los tratamientos 30Ln y 40Cr. En la segunda fase (indicada como “Fase 2” en la **Figura 8**) el aumento de la densidad de macollos fue de menor magnitud en los tratamientos de siembra cruzada.



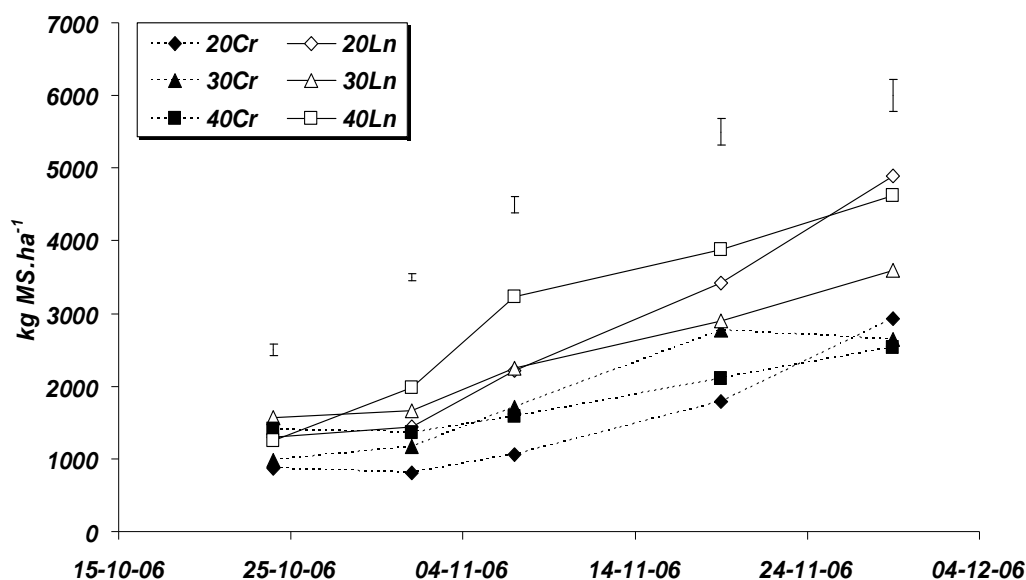
**Figura 8: Relación entre tamaño ( $\text{g.macollo}^{-1}$ ) y densidad ( $\text{macollos.m}^{-2}$ ) de macollos de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío, A) para los tratamientos sembrados en línea y B) los sembrados en forma cruzada.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40  $\text{kg.ha}^{-1}$ . Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las flechas indican la secuencia en el tiempo de las sucesivas mediciones.

### Biomasa acumulada

La biomasa acumulada fue mayor en los tratamientos sembrados en línea respecto de los cruzados, con valores promedio de  $2702 \pm 160$  y  $1722 \pm 160$ , respectivamente, no detectándose efectos de densidad de siembra ( $p=0,32$ ). La interacción detectada diseño de siembra x fecha de muestreo ( $p=0,035$ ) se debió al menor incremento de biomasa que mostraron el diseño de siembra cruzado respecto al diseño en línea a lo largo de la etapa de *establecimiento tardío* (**Figura 9**). Se observó un incremento

general de la biomasa acumulada a lo largo del periodo de medición en todos los tratamientos. Excepto para 40Ln, dichos incrementos fueron significativos a partir del 7/11. El tratamiento 40Ln se diferenció hasta dicha fecha, mostrando incrementos en la acumulación de biomasa significativamente superiores a los alcanzados por el resto de los tratamientos. La biomasa acumulada al final del periodo de *establecimiento tardío* fue mayor en el diseño en línea respecto del cruzado ( $4620 \pm 438 \text{ kg.ha}^{-1}$  y  $2612 \pm 438 \text{ kg.ha}^{-1}$ , respectivamente).



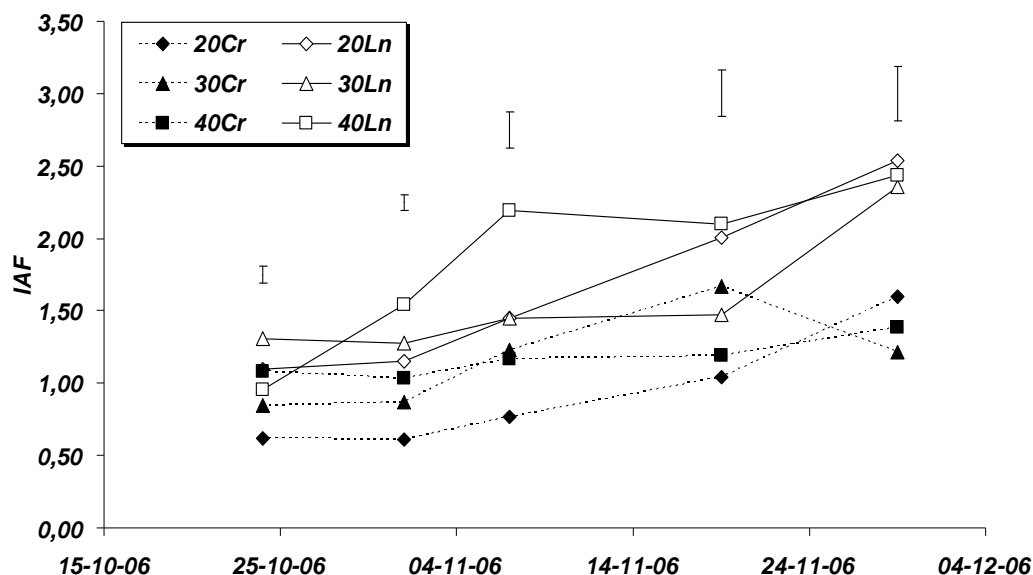
**Figura 9: Evolución de la acumulación de biomasa ( $\text{kg MS.ha}^{-1}$ ) de agropyron alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40  $\text{kg.ha}^{-1}$ . Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra. Durante el período de establecimiento tardío las fechas 24/10, 01/11, 07/11, 19/11 y 29/11/06 correspondieron a sumas térmicas de 886, 970, 1022, 1171 y 1298°C acumuladas desde el 10/06/06, momento en que hubo más del 50% de plántulas establecidas.

### Índice de área foliar

El IAF resultó mayor en los tratamientos sembrados en línea respecto de los cruzados, con valores promedio de  $1,88 \pm 0,095$  y  $1,37 \pm 0,095$ , respectivamente, no detectándose efectos de densidad de siembra ni interacción con fecha de muestreo (Figura 10). A partir del 7/11 el tratamiento 40Ln alcanzó aproximadamente un nivel de IAF techo. El resto de los tratamientos, en cambio, mostraron en general una

tendencia creciente en los valores de IAF hasta el final del período experimental. Al finalizar el periodo de establecimiento tardío los valores promedio de IAF de los tratamientos en línea fueron prácticamente el doble que en los sembrados en forma cruzada ( $2,44 \pm 0,09$  y  $1,40 \pm 0,18$  respectivamente).

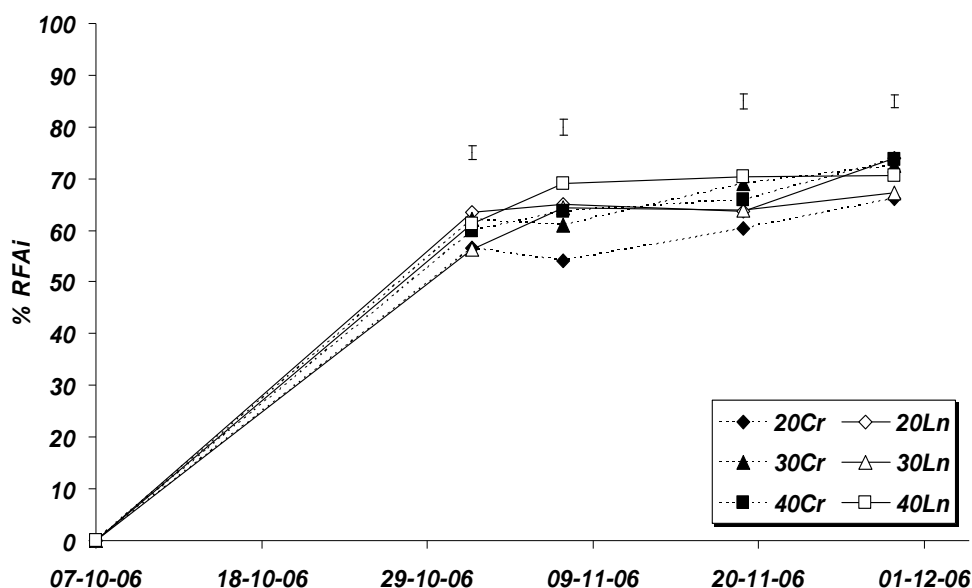


**Figura 10: Evolución del índice de área foliar de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra. Durante el período de establecimiento tardío las fechas 24/10, 01/11, 07/11, 19/11 y 29/11/06 correspondieron a sumas térmicas de 886, 970, 1022, 1171 y 1298°C acumuladas desde el 10/06/06, momento en que hubo más del 50% de plántulas establecidas.

### **Radiación fotosintéticamente activa interceptada**

No se detectaron diferencias significativas en la RFAi entre diseños ( $p=0,35$ ) y densidades de siembra ( $p=0,17$ ) (**Figura 11**). El rango de valores observado estuvo entre niveles de alrededor de 55-60% iniciales hasta 60-75% al finalizar el periodo de establecimiento tardío.

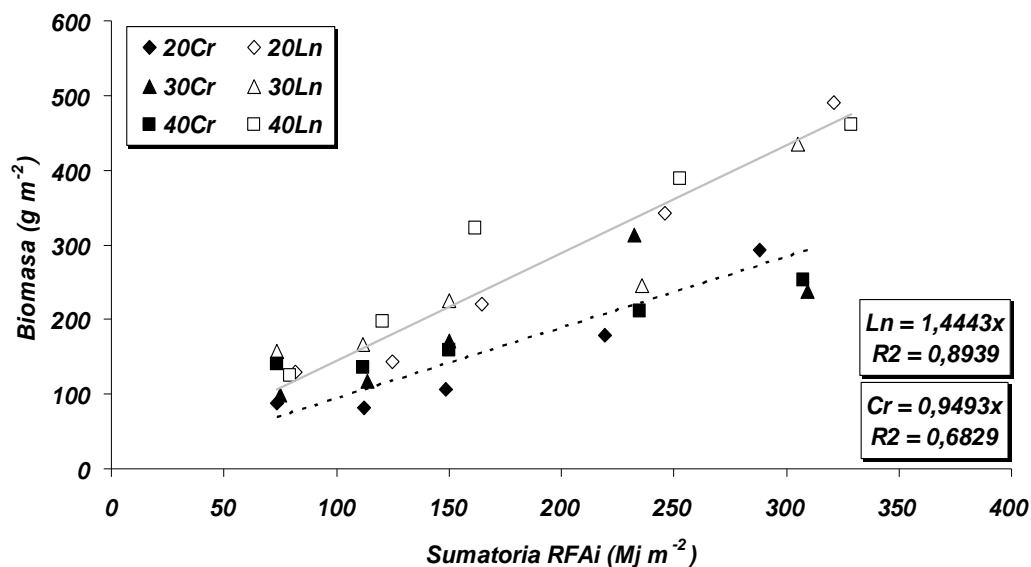


**Figura 11: Evolución del porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada en agropyro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40 kg.ha<sup>-1</sup>. Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra. Durante el período de establecimiento tardío las fechas 01/11, 07/11, 19/11 y 29/11/06 correspondieron a sumas térmicas de 970, 1022, 1171 y 1298°C acumuladas desde el 10/06/06, momento en que hubo más del 50% de plántulas establecidas.

### **Análisis radiativo del crecimiento**

Se ajustaron relaciones lineales entre la biomasa acumulada y la RFAi (Figura 12). Se detectó efecto de diseño de siembra ( $p=0,035$ ), no detectándose diferencias significativas entre las densidades evaluadas ( $p=0,44$ ). Las EUR promedio para los tratamientos sembrados en línea y cruzado fueron  $1,44 \pm 0,23$  y  $0,95 \pm 0,23$  g Mj<sup>-1</sup> respectivamente. No se hallaron diferencias en RFAi acumulada entre tratamientos de siembra, siendo numéricamente menor el promedio alcanzado por el diseño de siembra cruzado (302 Mj m<sup>-2</sup>) respecto del diseño en línea (318 Mj m<sup>-2</sup>).



**Figura 12: Relación entre acumulación de biomasa (gramos.m<sup>-2</sup>) y radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (Mj.m<sup>-2</sup>) en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40 kg.ha<sup>-1</sup>. Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las pendientes de las regresiones lineales corresponden a la eficiencia de uso de la radiación (EUR, g.Mj<sup>-1</sup>).

## 5. DISCUSIÓN

### Condiciones experimentales

#### *Clima*

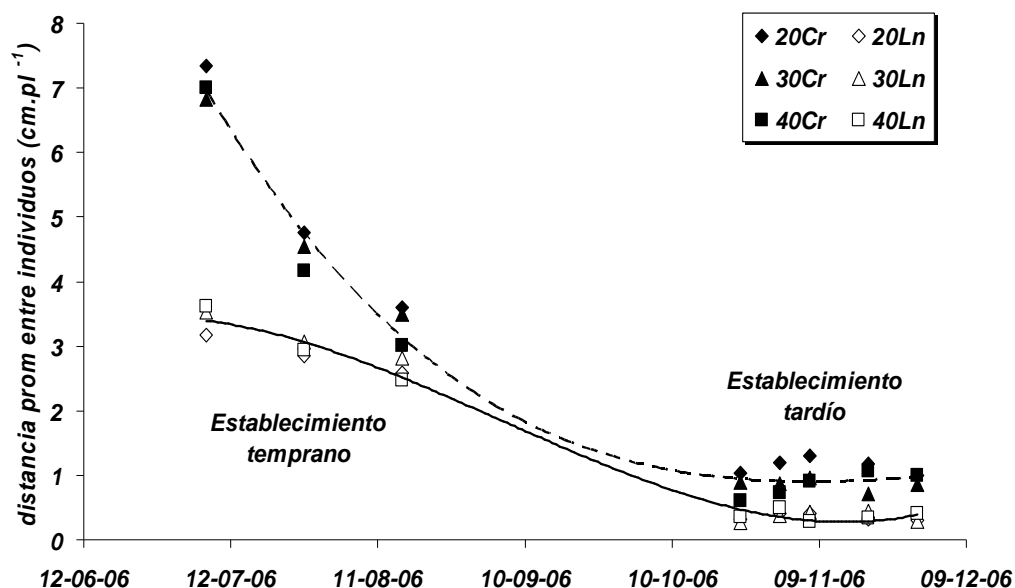
La variabilidad climática estacional e inter-anual entre periodos secos y húmedos ha sido una constante en la región pampeana durante los últimos 20 años, con incrementos de las tendencias en los últimos años hacia variaciones climáticas más frecuentes y severas (Seiler, 2007). Este hecho repercute en todo el sistema de producción agropecuaria en diversas formas e intensidades. En este contexto, el período experimental del presente trabajo puede definirse como seco relativo a los registros históricos (**Cuadro 1**). Las lluvias durante el periodo de experimentación fueron similares en ambas etapas, con un promedio estimado diario del orden de 1,5 mm. día<sup>-1</sup>. Sin embargo, la distribución fue marcadamente diferente. Mientras en el período inicial la distribución de lluvias fue relativamente homogénea, aproximadamente el 80% del período de *establecimiento tardío* recibió una precipitación media de 0,4 mm.día<sup>-1</sup>. Adicionalmente, si se acepta al cociente entre lluvias y ETP (estimada mediante el método de Penman-Monteith) como estimador de las condiciones hídricas para la vegetación (**Figura 1B**), mientras en el primer período las lluvias habrían sido suficientes para mantener condiciones apropiadas para el crecimiento vegetal (cociente = 0,91), en el segundo las mismas habrían sido fuertemente deficitarias (cociente = 0,26). Esto estuvo claramente asociado al patrón de temperaturas (**Figura 1A**). En la etapa temprana los valores diarios oscilaron alrededor de la media (8,8 °C) mientras que durante la etapa tardía la temperatura media del período prácticamente se duplicó, pudiéndose observar una tendencia creciente desde aproximadamente 10 hasta 18 °C entre el inicio y el fin del período. Los datos previamente discutidos muestran que el período de *establecimiento*

*temprano* no habría presentado condiciones hídricas deficitarias (**Figura 1B**), particularmente si se tiene en cuenta el escaso desarrollo de la pastura (plantas de tamaño pequeño) en dicha etapa. Por el contrario, durante la etapa de *establecimiento tardío* las condiciones hídricas habrían sido progresivamente más desfavorables para el crecimiento de las plantas, tal como lo sugiere la tendencia decreciente observada en los valores de balance hídrico desde el inicio de este período.

La TEF es altamente sensible a las variaciones de temperatura cuando otros factores ambientales no son limitantes para el crecimiento de las plantas (Peacock, 1975c). En tal sentido, el análisis de las variaciones recíprocas entre TEF y temperatura media diaria puede ser indicativo del ambiente climático imperante para un período determinado. En este ensayo, si bien se observó un cierto grado de acople entre las variaciones temporales de ambas variables (**Figura 2A**), la asociación negativa estimada a partir del ajuste lineal de los datos (**Figura 2B**) revela, efectivamente, la existencia de limitaciones ambientales para el crecimiento de las pasturas durante la etapa de *establecimiento tardío*. Tal como lo indica la información climática previamente presentada (**Figura 1B**), las condiciones hídricas pudieron ser el principal factor restrictivo para el crecimiento en esta etapa experimental. Varios estudios mostraron que frente a deficiencias hídricas las plantas reducen la expansión de órganos aéreos y, por ende, el desarrollo radical (Hsiao y Jing, 1987; Durand *et al.*, 1995; Munns, 2002). Por otro lado, también se ha observado que la TEF es sensible a incrementos en la demanda evaporativa (Ben Haj Salah y Tardieu, 1997; Munns *et al.*, 2000). Esta información toma más trascendencia en este caso, por el tipo de suelo en el que se desarrolló la investigación, debido a la poca capacidad de retención de agua del mismo (Taboada *et al.*, 1998).

### **Efecto de los tratamientos sobre la distribución de individuos en el espacio.**

A partir de los diferentes tratamientos aplicados, los cuales se plantearon en términos de densidad y arreglo de siembra, se estimó la distancia promedio entre individuos (**Figura 13**). Según el momento del ciclo de crecimiento, la misma surge a partir de la densidad de plantas establecidas o de la densidad de macollos (**Figura 4**). Estos cálculos mostraron que la distancia promedio entre plantas vecinas dentro de la línea no difirió entre densidades de siembra y que la misma resultó menor en los tratamientos sembrados en línea respecto de los cruzados.



**Figura 13: Distancia entre plántulas y macollos establecidos (cm.individuo<sup>-1</sup>) de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el periodo de establecimiento temprano y tardío para los distintos tratamientos.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40 kg.ha<sup>-1</sup>. Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Durante el periodo de establecimiento tardío las fechas 24/10, 01/11, 07/11, 19/11 y 29/11/06 correspondieron a sumas térmicas de 886, 970, 1022, 1171 y 1298°C acumuladas desde el 10/06/06, momento en que hubo más del 50% de plántulas establecidas.

Es decir que la gama de densidades de siembra utilizadas prácticamente no habría tenido efecto sobre la distribución promedio de individuos. La misma habría estado determinada, principalmente, por el diseño de siembra. Sus variaciones reflejarían diferencias en el grado de uniformidad en la distribución espacial de



individuos. La diferencia entre diseños de siembra fue máxima al inicio del *establecimiento temprano*, con valores promedio de distancia entre individuos de 7,05 y 3,42 cm para los tratamientos cruzado y en línea, respectivamente, cayendo luego con una tendencia asintótica hasta alcanzar valores promedio de 0,95 y 0,33 cm para los mismos tratamientos.

### **5.1. Efecto del diseño y la densidad de siembra sobre la eficiencia de establecimiento durante la etapa temprana.**

Los resultados de densidad de plántulas durante el *establecimiento temprano* (**Figura 4**) muestran dos aspectos principales. Por un lado, la falta de efecto de la densidad de siembra sobre la variable mencionada y, por el otro, el efecto favorable del diseño de siembra cruzado respecto del diseño en línea en el número de plantas establecidas al final del período de *establecimiento temprano*. En cuanto al primer punto, la independencia entre densidad de siembra y densidad promedio de plantas establecidas observada es coincidente con lo encontrado por otros autores en ensayos de implantación de agropiro alargado realizados en la región (Borrajo y Alonso, 2004; Scheneiter, 2007). Esta compensación fue el resultado de marcadas diferencias en la eficiencia de establecimiento ocurridas entre los tratamientos de arreglo de siembra (**Cuadro 3**), con un patrón que mostró, para ambos diseños, una asociación negativa entre densidad de siembra y dicha eficiencia. Así, 20Cr presentó una eficiencia de establecimiento 33 y 60% superior que 20Ln, 30Cr y 40Cr y que 30Ln y 40Ln, respectivamente. Vale recalcar que, a pesar de no haberse encontrado diferencias estadísticas de eficiencia de implantación entre las densidades de siembra utilizadas, tales eficiencias fueron consistentemente menores en el diseño en línea respecto del cruzado. A su vez, dentro de cada diseño de siembra (en línea y cruzado), los tratamientos de 20 kg.ha<sup>-1</sup> presentaron las mayores eficiencias de establecimiento.

El otro aspecto de la *Figura 4* que fue destacado previamente se refiere a la superioridad en el número de plántulas establecidas en el tratamiento sembrado en forma cruzada respecto del tratamiento sembrado en línea. Las razones por las cuales la densidad de plántulas pudo verse afectada por los diseños de siembra no son fáciles de deducir y podrían asociarse al efecto de los mismos sobre la uniformidad de la distribución de las semillas, de los individuos germinados o de las plántulas emergidas. Skinner (2005), en un estudio sobre pasto ovillo y raigrás perenne, encontró que, independientemente de la densidad de siembra, el incremento en el grado de agrupamiento de los individuos emergidos y, por ende, la disminución de la distancia entre vecinos, es un factor que puede ser determinante para la supervivencia de plántulas. En dicho trabajo los resultados mostraron que en condiciones ambientales adecuadas la supervivencia de plántulas decayó en ambas especies con el agrupamiento, hecho concordante con los resultados obtenidos en la presente experiencia. En este sentido, y de acuerdo a lo esperado en el planteo de hipótesis, el mayor número de plántulas alcanzado por los tratamientos de siembra cruzada podría atribuirse, al menos en parte, a una menor competencia intra-específica por recursos respecto de los sembrados en línea, hecho probablemente asociado a la mayor uniformidad en la distribución espacial de los individuos. Sin embargo, los resultados de Skinner (2005) mostraron que bajo condiciones de sequía la respuesta no cambió en pasto ovillo pero se revirtió en el caso de raigrás perenne. El comportamiento observado en esta última especie, donde según los autores el agrupamiento o cercanía entre vecinos facilitó la supervivencia de los mismos bajo condiciones de estrés ambiental (en lugar de generar competencia como generalmente se espera), es referido en la literatura como *facilitación* (Bertness y Callaway, 1994; Bertness y Hacker, 1994; Skinner, 2005; Brooker, 2006; Brooker *et al.*, 2008). En este contexto, la generalización de los resultados del presente estudio debería realizarse con

prudencia, restringiéndose a situaciones climáticas y agronómicas favorables durante la etapa inicial de la implantación.

## **5.2. Efecto del diseño y la densidad de siembra sobre parámetros morfo-fisiológicos y productivos de la pastura durante el establecimiento tardío.**

La superioridad del tratamiento de siembra cruzada respecto a la densidad promedio de individuos observada durante el *establecimiento temprano* se revirtió totalmente en la presente etapa (**Figura 4**). Así, excepto 40Cr, los tratamientos sembrados en línea presentaron una densidad de macollos 27% mayor respecto de los tratamientos sembrados en forma cruzada a lo largo de todo el periodo. Durante esta etapa tampoco se hallaron diferencias entre las densidades de siembra utilizadas. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Scheneiter (2007) para agropiro alargado dentro de un rango similar de densidades de siembra. En dicha experiencia los tratamientos mantuvieron diferencias en la densidad de macollos hasta los 18 meses posteriores a la siembra de las pasturas.

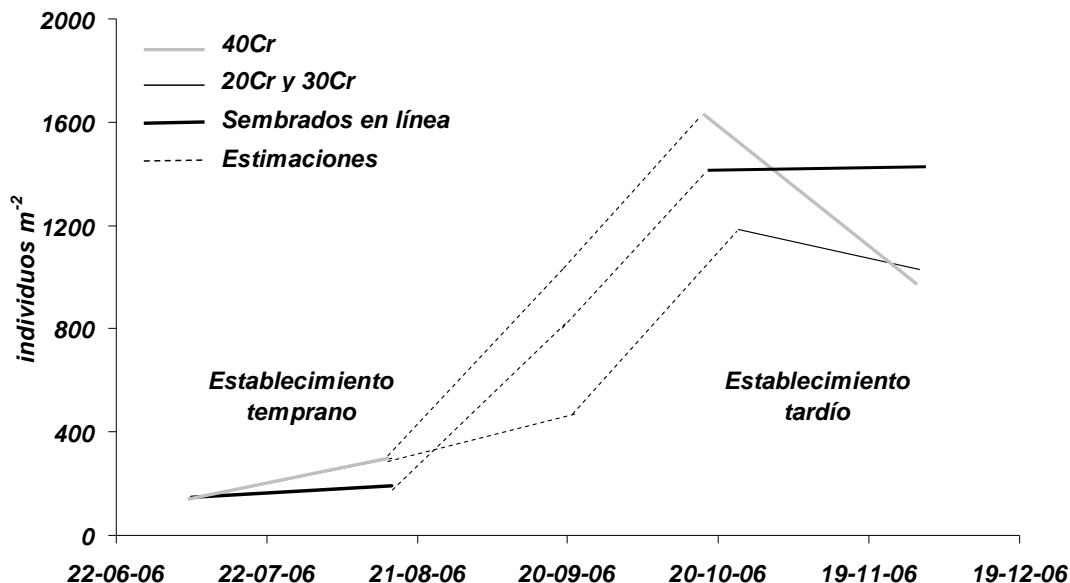
La dinámica de aparición y muerte de macollos (**Figura 5A**) puede ayudar a interpretar las diferencias en densidad poblacional encontradas en la experiencia. La disminución de la aparición de macollos así como el comienzo de la muerte de los mismos fue coincidentemente con el incremento de las temperaturas, la evapotranspiración y la disminución de las precipitaciones (**Figuras 1A y 1B**). Con excepción de los tratamientos 40 y 30Cr, el resto de los tratamientos mostró una relativa estabilidad en la producción neta de macollos durante el periodo de *establecimiento tardío* (**Figura 5B**). Excepto para el tratamiento 30Cr, en el cual la densidad de macollos no cayó a través del tiempo, estos resultados tienden a confirmar las tendencias generales observadas en la densidad poblacional de macollos (**Figura 4**). Tal como lo sugiere la **Figura 5A**, durante la etapa de *establecimiento tardío* los procesos que determinan el balance neto de macollos, o sea la aparición y la muerte,

habrían sido de escasa intensidad y similar magnitud en los tratamientos en que la densidad poblacional se mantuvo relativamente estable a través del tiempo. Por su parte, la caída marcada en la densidad poblacional del tratamiento 40Cr habría sido consecuencia de un escaso macollaje, equivalente al resto de los tratamientos, y a una fuerte mortalidad.

Los resultados de densidad poblacional observados en la etapa de establecimiento tardío indican la existencia de diferencias entre tratamientos en la dinámica de producción neta de macollos durante la interfase entre los períodos de *establecimientos temprano y tardío*. La *Figura 14* presenta un panorama completo, estimativo, de la evolución de la densidad poblacional a largo de todo el período de establecimiento. Dicha evolución se estimó a partir de la información demográfica (monitoreada desde los 30 días previos al inicio del resto de las mediciones realizadas durante la fase *establecimiento tardío*) y de los datos observados de densidad poblacional según la siguiente ecuación:

$$m_f = m_i + (m_i * t_m * \delta_t)$$

Donde  $m_f$  y  $m_i$  indican la densidad de macollos de los tratamientos al final e inicio de las mediciones demográficas, respectivamente,  $t_m$  las tasas de macollaje de cada tratamiento,  $\delta_t$  el intervalo entre inicio (25/09) y fin período de macollaje (17/10 ó 23/10 para los tratamientos 40Cr, 20Ln, 30Ln, 40Ln y 20Cr, 30Cr, respectivamente ).



**Figura 14:** Evolución completa de la densidad de individuos de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) ( $\text{individuos.m}^{-2}$ ) incluyendo las tendencias calculadas a partir de los datos observados durante las etapas experimentales de establecimiento temprano y tardío (líneas llenas), y las tendencias estimadas (ver texto) para la interfase entre ambas etapas (líneas cortadas, ----).

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40  $\text{kg.ha}^{-1}$ . Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado.

Los resultados estimados para la interfase entre ambos períodos de establecimiento sugieren que los tratamientos sembrados en línea y 40Cr habrían iniciado anticipadamente la fase de tasas máximas de crecimiento poblacional respecto del resto de los tratamientos. El comportamiento diferencial entre tratamientos pudo estar asociado al mayor tamaño promedio por macollo (**Figuras 6 y 7**) y, por ende, a una mayor capacidad para asistir en forma simultánea demandas para la elongación foliar y para un macollaje activo (Robson *et al.*, 1988).

Para analizar las variaciones de densidad de macollos observadas, las mismas pueden relacionarse con las variaciones concomitantes del tamaño de los individuos. En general se espera que dichas variaciones estén asociadas en forma negativa (Harper 1977, Matthew *et al.*, 1995). Así, se observó que la densidad poblacional presentó un patrón común de variación entre tratamientos, con fluctuaciones

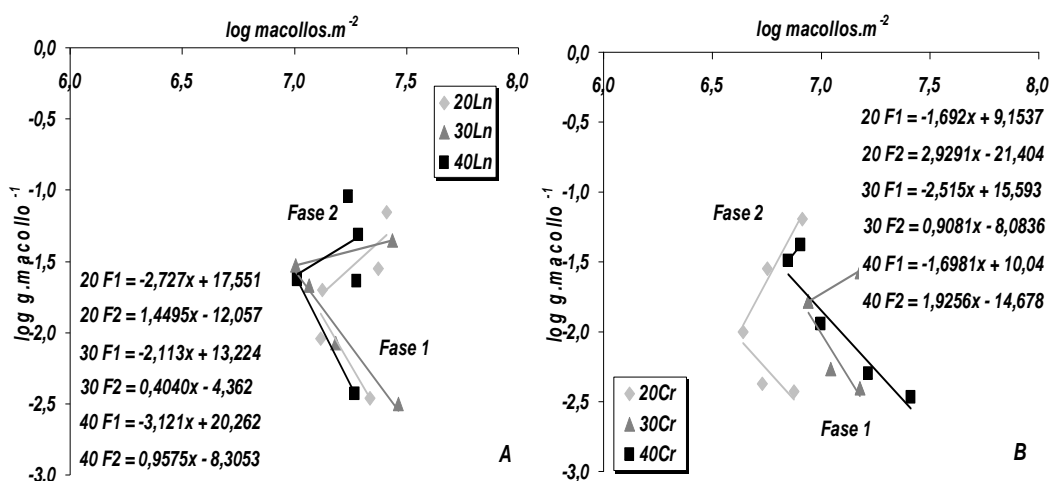
estrechamente asociadas al tamaño promedio de los macollos (**Figuras 8A y 8B**). La caída generalizada en la densidad poblacional se registró hasta que el tamaño promedio se incrementó hasta valores del orden de 0,15 a 0,20 g. Estas disminuciones en la densidad de macollos fueron de mayor magnitud para 40Cr y 30Ln (76% y 55%, respectivamente) y, a su vez, más prolongadas (12 días, equivalentes a 150°C acumulados), respecto de los demás tratamientos (25%). La competencia lumínica (White y Harper, 1970; Harris, 1970; Kays y Harper, 1974; Harper 1977; Ong *et al.*, 1978; Ong y Marshall, 1979; Matthew *et al.*, 1995), nutricional (Ong, 1978; Ong *et al.*, 1978) o hídrica (Donald, 1963; Harris, 1970; Sletvold, 2005) se encuentran entre los principales factores que gobiernan la densidad poblacional de las cubiertas vegetales. Asociado a ello, la probabilidad de supervivencia de macollos se incrementa junto con el aumento de tamaño (Ong, 1978; Ong *et al.*, 1978; Sletvold, 2005) y, por lo general, este último está íntimamente relacionado con la densidad de individuos (White y Harper, 1970; Kays y Harper, 1974; Harper 1977; Matthew *et al.*, 1995). En el presente estudio no se discriminó por categorías de tamaño de macollos, hecho que impide demostrar que la mayor mortalidad observada en los tratamientos 40Cr y 30Ln refleje una mayor prominencia de macollos pequeños respecto del resto de los tratamientos. Sin embargo los resultados de largo foliar total (**Figura 7**) muestran que, en general, ambos tratamientos presentaron los menores valores de dicha variable a lo largo del período de establecimiento tardío. El hecho de que este contraste no se haya reflejado en el peso promedio por macollo (**Figura 6**) sugiere, por otro lado, que los valores promedio de peso por macollo pudieron enmascarar diferencias entre tratamientos en la frecuencia de distribución poblacional del tamaño de macollos.

El patrón general observado en las **Figuras 8A y 8B**, refleja la existencia de importantes ajustes denso-dependientes en la etapa de *establecimiento tardío*, eventualmente asociados a presiones ambientales, los cuales explicarían, en alto grado, la dispersión observada a través del tiempo en los valores de densidad

poblacional (**Figura 4**). Sin embargo, excepto para el tratamiento 40Cr, tal situación no fue coincidente con la estabilidad observada en el patrón de demografía poblacional del resto de los tratamientos (**Figura 5B**). Dado que las mediciones demográficas no incluyeron a los individuos con menos de 3 hojas, es factible suponer que los ajustes denso-dependientes ocurrieron principalmente en esa fracción de la población de macollos hecho que, por otro lado, fortalece la discusión planteada en el párrafo precedente.

Luego de la fase de caída de la densidad poblacional previamente discutida, todos los tratamientos mostraron incrementos en la densidad y el tamaño de macollos (Fase 2 en la **Figura 8**). Ello sugiere que, independientemente del mecanismo que hubiera operado en el ajuste denso-dependiente inicial, tal ajuste favoreció la prominencia de macollos más competitivos y con capacidad para asistir el proceso de macollaje. Este hecho puede relacionarse con la rusticidad intrínseca presentada por la especie, la cual es conocida por su adaptación a condiciones ambientales (edáficas como climáticas), las cuales pueden resultar marginales para otras especies (Mazzanti *et al.*, 1992; Fernández Grecco *et al.*, 1996; Vogel y Moore, 1998; Borrajo, 1998). Así, posiblemente estos ajustes denso-dependientes hayan estado asociados a que agropiro alargado para sobrevivir y poder atender simultáneamente a los procesos de crecimiento foliar y macollaje debería alcanzar un tamaño promedio de macollo, el cual podría estar asociado a un rango de densidad poblacional de macollos. Siendo esta última menor respecto a las densidades promedio de macollos presentadas para otras especies (Collabelli *et al.*, 1998; Agnusdei y Wade, 2002), a las cuales se las relaciona con situaciones ambientales más favorables que las habituales para agropiro alargado. Con la finalidad de analizar los patrones denso-dependientes observados en los diseños de siembra, los datos fueron transformados logarítmicamente (**Figura 15**), ajustándose regresiones lineales entre el LN de la densidad y del tamaño para las dos fases de ajuste previamente discutidas. Las densidades de siembra extremas (20 y 40)

mostraron un comportamiento similar dentro de cada diseño de siembra, hecho que no fue generalizable a la densidad intermedia (30). Particularmente interesante fue el ajuste observado en la denominada *fase 1*, donde la pendiente entre densidad y tamaño fue aproximadamente 1,7 veces mayor en el diseño de siembra en línea respecto del cruzado. Ello implica que, en el primer diseño, por cada unidad en que se redujo la densidad poblacional de macollos, el incremento logrado en el tamaño promedio por macollo fue de aproximadamente el doble respecto del diseño de siembra cruzado. El valor de las pendientes y la magnitud de la diferencia entre tratamientos pueden interpretarse como una medida del costo para alcanzar las condiciones de estructura poblacional a partir de las cuales reanudar el incremento en la densidad y en el tamaño de los individuos (*Fase 2*). Teniendo en cuenta que el proceso de macollaje es de alto costo de C relativo a la expansión foliar (Robson *et al.*, 1988), los resultados sugieren que los tratamientos sembrados en línea habrían sido comparativamente más eficientes que los sembrados en forma cruzada, hecho que, a su vez, podría afectar la capacidad productiva de las cubiertas.



**Figura 15: Relaciones entre tamaño ( $\log g.\text{macollo}^{-1}$ ) y densidad ( $\log \text{macollos}.\text{m}^{-2}$ ) de macollos en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) durante el período de establecimiento tardío, para A) los tratamientos sembrados en línea y B) los sembrados en forma cruzada.**

20, 30 y 40 indican densidades de siembra de 20, 30 y 40  $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ . Cr y Ln indican diseños de siembra en línea y cruzado. Las barras verticales indican los valores de error estándar de la media para los distintos diseños de siembra.



La magnitud de los ajustes denso-dependientes impuestos por los diseños de siembra revelan, por un lado, una importante plasticidad de agropiro alargado para adaptarse a variaciones en las condiciones ambientales. Por el otro, que bajo condiciones de restricción hídrica como las que se presentaron durante el periodo de *establecimiento tardío* y, posiblemente también ante otro tipo de restricciones ambientales, el éxito del establecimiento de agropiro alargado sea altamente dependiente del diseño de siembra.

El efecto positivo del diseño en línea sobre la producción de biomasa observada a lo largo del periodo de *establecimiento tardío* (**Figura 9**) se reflejó en una diferencia de 38% al final del período de acumulación respecto del diseño cruzado. Ello estuvo asociado a que las máximas acumulaciones logradas por los tratamientos sembrados en forma cruzada fueran alcanzadas con una anticipación de alrededor de 22 días (suma térmica: 275°Cd) por los tratamientos sembrados en línea.

Vale destacar que en este trabajo la biomasa acumulada no fue afectada por las distintas densidades de siembra, resultado que es consistente con la información obtenida por Scheneiter (2007) en una evaluación del efecto de tres densidades de siembra (8, 25 y 41 kg.ha<sup>-1</sup>) de agropiro alargado en un suelo marginal (Natracuulf). Así, al cabo del primer ciclo de crecimiento de la pastura el autor no detectó diferencias en producción de biomasa entre las densidades de siembra de 25 y 41 kg.ha<sup>-1</sup>.

Los incrementos en la producción de biomasa pueden ser atribuidos a la densidad de macollos, al peso o a la combinación de ambos (Bircham y Hodgson, 1983; Volenec y Nelson, 1983). En este sentido, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para analizar la importancia relativa de ambos componentes del rendimiento. Los resultados muestran que el incremento en el peso por macollo (**Figura 6**) fue el principal factor que explicó el incremento en la producción de forraje en ambos diseños de siembra (**Figura 9**). El análisis de regresión predice una

contribución media de 60% y 31%, respectivamente, en la explicación de los resultados de producción de forraje para los tratamientos de siembra en línea y cruzado.

Los máximos valores de IAF observados fueron del orden de 2,25 (**Figura 10**), los cuales fueron alcanzados exclusivamente por los tratamientos sembrados en línea. Los mismos son sensiblemente más bajos que las estimaciones de IAF máximo y crítico obtenidas en otros trabajos locales realizados en pasturas de esta especie (del orden de 3 a 5, Cañon, 2001). Ello indica que, aún en las cubiertas más productivas, el crecimiento de las pasturas habría estado limitado por el tamaño potencial de los macollos individuales. A su vez, los resultados sugieren que para alcanzar el IAF crítico, los tratamientos sembrados en línea hubieran requerido una densidad de individuos de aproximadamente el doble a la efectivamente alcanzada. De acuerdo con la dinámica poblacional encontrada en la experiencia, sin embargo, ello no hubiera sido una alternativa poblacional sustentable durante la etapa de establecimiento de las pasturas.

A pesar de que los tratamientos sembrados en línea presentaron valores superiores de IAF respecto de los sembrados en forma cruzada, ambos mostraron valores de RFAi similares (**Figura 11**). Cambios arquitecturales a nivel de la canopia asociados al efecto de los tratamientos sobre el arreglo espacial de los individuos (**Figura 13**) pudieron generar modificaciones en el coeficiente de extinción lumínica ( $k$ ) (Gardner *et al.*, 1985; Tetio-Kagho y Gardner, 1988), compensando las diferencias de IAF entre tratamientos.

Consistentemente con lo discutido en el párrafo precedente, aproximadamente el 76% de las diferencias en biomasa acumulada de forraje encontradas entre diseños de siembra son atribuibles al efecto de los tratamientos sobre la EUR (**Figura 12**). La menor EUR de los tratamientos sembrados en forma cruzada podría atribuirse, en

parte, a altos costos de C respecto de los tratamientos sembrados en línea como consecuencia del balance menos favorable entre producción y pérdida de macollos previamente discutido (***Figuras 8 y 15***). Adicionalmente, no se descarta una mayor incidencia de limitaciones hídricas y nutricionales sobre la asimilación de C en estos tratamientos respecto de los sembrados en línea, hecho que fue atribuido al menor tamaño de macollos y, por ende, a un menor desarrollo radical.

## 6- CONCLUSIONES

- El efecto positivo esperado de la siembra cruzada sobre la densidad poblacional se observó solamente durante la etapa de *establecimiento temprano*.
- La siembra en línea alcanzó, en general, mayor producción de forraje que la siembra cruzada.
- El efecto del diseño fue independiente de la densidad de siembra.
- La superioridad productiva de las siembras en línea fue explicada, principalmente, por una mayor EUR.

La ventaja de la siembra en línea operó a través de mecanismos denso-dependientes de ajuste poblacional durante la etapa de *establecimiento tardío*:

- La superioridad productiva de las siembras en línea fue explicada, primariamente, por poseer macollos de mayor tamaño promedio y de mayor capacidad de crecimiento, como también por presentar mayor densidad poblacional.
- La estructura de densidad y tamaño de macollos de ambos diseños de siembra fue el resultado de ajustes denso-dependientes que revelan una efectiva plasticidad fenotípica inherente a agropiro alargado para adaptarse a variaciones en las condiciones ambientales.
- Los ajustes correspondieron a reducciones en la densidad poblacional hasta alcanzar un tamaño sugerido como crítico para sostener simultáneamente los procesos de expansión foliar y macollaje.

- El mecanismo denso-dependiente para alcanzar tal tamaño individual crítico requirió de una reducción poblacional de alrededor de la mitad en las siembras en línea, respecto de las sembradas en forma cruzada.
- La mayor eficiencia del mecanismo denso-dependiente para ajustar el tamaño de macollos que fue observada en las siembras en línea surge como un factor determinante de la superioridad de este tratamiento en la conversión de la energía lumínica en biomasa de forraje.

Bajo las condiciones ambientales (suelo marginal y restricciones hídricas durante la etapa de *establecimiento tardío*) y de manejo de la presente experiencia (adecuada disponibilidad de nutrientes y excelente calidad de semilla) la siembra en línea resultó superior que la siembra cruzada, tanto desde el punto de vista productivo como de la estructura poblacional de las pasturas. En el mismo contexto, no se encontró evidencias que indiquen beneficios de incrementar la densidad de siembra por encima de la dosis mínima evaluada de 20 kg/ha.

La mayor densidad de plántulas lograda en las siembras cruzadas durante la etapa de *establecimiento temprano*, favorecida seguramente por las condiciones hídricas adecuadas del período, parece haber sido determinante del deterioro posterior de la estructura poblacional y productiva de estas pasturas. En tal sentido, se postula que la densidad de plántulas lograda habría superado la capacidad de carga del ambiente en las etapas posteriores al *establecimiento temprano*, caracterizadas por la incidencia de condiciones hídricas progresivamente más restrictivas.

Finalmente, se plantea la necesidad de verificar los resultados de esta experiencia en diferentes condiciones ambientales, particularmente hídricas, incluyendo tratamientos no limitantes para el crecimiento de las pasturas y, en lo posible, determinaciones de nivel de estrés en planta y de desarrollo radical. Dado que es alta la posibilidad de que el presente escenario de fuerte presión agrícola sobre el

uso de la tierra se mantenga, será estratégico focalizar tales estudios en suelos con moderadas a fuertes restricciones para el desarrollo vegetal, para los cuales la información local e internacional sobre tecnologías de implantación de pasturas es escasa.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

AELLO, M. S., 1979. El agropiro como complemento de las pasturas naturales en los sistemas de cría de la depresión del salado. I: Pastoreo primavera-estival (Tomo I y II). Tesis Ingeniero Agrónomo Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad Integrada Balcarce. Argentina. 225 p.

AGNUSDEI, M. G., ASSUERO, S. G., FERNÁNDEZ GRECCO, R. C., CORDERO J. J. y BURGHI V. H. 2007. Influence of sward condition on leaf tissue turnover in tall fescue and tall wheatgrass swards under continuous grazing. *Grass and Forage Science* 62 (1): 55-65.

AGNUSDEI, M. y WADE, M. H. 2002. Factores del crecimiento y del manejo que determinan la estructura de las pasturas. Taller: Bases para el manejo del pastoreo, AAPA.

ALESSI, J., POWER, J. F. and ZIMMERMAN, D. C., 1977. Sunflower yield and water use as influenced by planting date, population, and row spacing. *Agronomy Journal* 69: 465-469.

ANDRADE, F.H., CIRILO, A.G., UHART, S. A. and OTEGUI, M.E. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Dekalb Press. Buenos Aires, Argentina. 292 p.

ANDRADE, F. H., CALVIÑO, P. A., CIRILO, A. and BARBIERI, O. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal* 94: 975-980.

ASHER, C. J. and OZANNE, P. G. 1966. Root growth in seedlings of annual pasture species. *Plant and soil* 24 (3): 423-436

BELLOTTI, W. D. and BLAIR, G. J. 1989. The influence of sowing method on perennial grass establishment. I. Dry matter yield and botanical composition. *Australian Journal of Agricultural Research* 40 (2): 301-311

BELLOTTI, W. D. and BLAIR, G. J. 1989. The influence of sowing method on perennial grass establishment. II. Seedbed microenvironment, germination and emergence. *Australian Journal of Agricultural Research* 40 (2): 313-321

BELLOTTI, W. D. and BLAIR, G. J. 1989. The influence of sowing method on perennial grass establishment. III. Survival and growth of emerged seedlings. *Australian Journal of Agricultural Research* 40 (2): 322-331

BENJAMIN L. R. 1988. A single equation to quantify the hierarchy in plant size induced by competition within monocultures. *Annals of Botany* 62: 199-214.

BEN HAJ SALAH, H. B. H. and TARDIEU, F. 1997. Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand (a superposition of hydraulic and chemical messages?). *Plant Physiol.* 114(3): 893-900.

BERTÍN, O. D., AROSTEGUY, J. C., SEVILLA, G. H., MARTÍN, F. y LORENZO, M. S. 1987. Demografía de hojas y macollas en agropiro alargado bajo diferentes sistemas de pastoreo. *Revista Argentina de Producción Animal* 7 (4): 347-353

BERTNESS, M. D. and CALLAWAY, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends Ecol. Evol.* 16(9): 191-193.

BERTNESS, M. D. and HACKER, S. D. 1994. Physical stress and positive associations among marsh plants. *The American Naturalist* 144 (3): 363-372.

BIRCHAM, J. S. and HODGSON, J. 1983. The influence of swards condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and Forage Science* 38: 323-331.

BITZER, M. J. and BRUENING, B. 1997. Effects of varieties and row width on kenaf yields. In: *Proc. Ninth Ann. Int. Kenaf Assoc. Conf.*, Scottsdale, AZ, March 27-29, p. 67.



BORRAJO, C. I. 1998. Generación y expansión de los órganos foliares de agropiro alargado en función del material genético y la disponibilidad de nitrógeno. Tesis M. S. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad Integrada Balcarce. Argentina. 225 p.

BORRAJO, C. I. y ALONSO, S. I. 2004. Germinación, emergencia e implantación de variedades experimentales de agropiro alargado. Revista Argentina de Producción Animal 24 (1-2): 29-40.

BROOKER, R. W. 2006. Plant-plant interactions and environmental change. New Phytologist 171 (2): 271-284 (14).

BROOKER, R. W., MAESTRE, F. T., CALLAWAY, R. M., LORTIE, C. L., CAVIERES, L. A., KUNSTLER, G., LIANCOURT, P., TIELBÖRGER, K., TRAVIS, J. M. J., ANTHELME, F., ARMAS, C., COLL, L., CORCKET, E., DELZON, S., FOREY, E., KIKVIDZE, Z., OLOFSSON, J., PUGNAIRE, F., QUIROZ, C. L., SACCONI, P., SCHIFFERS, K., SEIFAN, M., TOUZARD, B. and MICHALET, R. 2008. Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. The Journal of Ecology 96 (1): 18-34 (17).

BULLOCK, D. G., NIELSEN, R. L. and NYQUIST, W. E. 1988. A growth analysis of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. Crop Science 28: 254-258.

CALLAWAY, R. M. 1995. Positive interactions among plants. Bot. Rev. 61: 306-349.

CANÓN, L. A., 2001. Producción otoñal de forraje de agropiro alargado (*Thynopirum ponticum*): Efecto de la fertilización nitrogenada. Tesis Ingeniero Agrónomo Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad Integrada Balcarce. Argentina. 43 p.

CALVIÑO, P., SADRAS, V., REDOLATTI, M. y CANEPA, M. 2004. Yield responses to narrow rows as related to interception of radiation and water deficit in sunflower hybrids of varying cycle Field Crops Research 88: 261-267.

CAMPBELL, M. H. and SWAIN, F. G. 1973. Factors causing losses during the establishment of surface-sown pastures. *Journal of Range Management* 26 (5): 355-359.

CAMPBELL, B. D. and KUNELIUS, H. T. 1984. Performance of overdrilled red clover under different sowing rates and initial grazing managements. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 12: 71-81.

CASTAÑO, J. 2005. Producción de semillas de gramíneas forrajeras en el sudeste bonaerense. ed.: INTA EEA Balcarce. Material Didáctico N° 10 p 77.

COLABELLI, M. R. 1996. Intersiembra de especies forrajeras en la Pampa Deprimida bonaerense. ed. : SAGPyA, INTA - CERBAS, EEA Balcarce. Boletín técnico N° 137 p 21.

COLABELLI, M. R., AGNUSDEI, M., MAZZANTI, A. y LABREVEUX, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. ed. : SAGPyA, INTA - CERBAS, EEA Balcarce. Boletín técnico N° 148 p 21.

COLABELLI, M. R., URCOLA, H. y AGNUSDEI M. 2002. Intersiembra de leguminosas en suelos de aptitud agrícola. 1. Efecto de la época de intersiembra y de la distancia entre surcos sobre el establecimiento de las especies intersembradas. *Avances en Producción Animal* 27: 77 – 86.

CONTI, J. C., GIORDANI, C. A., WOLF, G. y CAPPELLETTI, A. M. A. 1983. Efecto de distintas densidades de avena en la implantación de praderas permanentes. *Revista Argentina de Producción Animal* 3: 307-321.

DONALD, C. M. 1963. Competition among crop and pastures. *Advances in Agronomy* 15: 1-118.

DUNCAN, W. G. 1984. A theory to explain the relationship between corn population and grain yield. *Crop Science* 24:1141-1145.

DUNCAN, W. G. 1986. Planting patterns and soybean yields. *Crop Science* 26: 584-588.

DURAND, J. L., ONILLON, B., SCHNYDER, H. and RADEMACHER, I. 1995. Drought effects on cellular and spatial parameters of leaf growth in tall fescue. *Journal Experimental of Botany* 46: 1147-1155.

EGLI, D. B. 1994. Mechanisms Responsible for Soybean Yield Response to Equidistant Planting Patterns. *Agronomy Journal* 86:1046-1049.

FENNER, M. 1985. Seed ecology. *Outline Studies in Ecology*, Chapman & Hall, London a.o., 151 pp.

FENNER, M. 1987. Seedlings. *New Phytologist* 106: 35-47.

FERNÁNDEZ GRECCO, R., SCIOTTI, A. Y MAZZANTI, A. 1996. Fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la acumulación de forraje de *Thinopyrum ponticum*. *Actas 20º Congreso Argentino de Producción Animal*. pp.223-224.

FERRARI, L. y MADALONI, J. 2001. Forrajas y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina. Lomas de Zamora, INTA, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. 520 pp.

FLENET, F., KINIRY, J. R., BOARD, J. E., WESTGATE, M. E. and REICOSKY, D. C. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower. *Agronomy Journal* 88: 185-190.

FORD, E. D. 1975. Competition and stand structure in some even-aged plant monocultures. *The Journal of Ecology* 63 (1): 311-333.

FORD, E. D. and DIGGLE, P.J. 1981. Competition for light in a plant monoculture modelled as a spatial stochastic process. *Annals of Botany* 48: 481-500.

GARDNER, F.P., BRENT PEARCE, R and MITCHEL, R.L. 1985. Carbon fixation by crop canopies. In: *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. pp. 31-57.

GARGANO, O. A. y ADÚRIZ, M. A. 2005. Efectos de la frecuencia de corte, distancia de siembra y fertilización nitrogenada en *Digitaria eriantha* cv. Irene. Archivo Latinoamericano de Producción Animal 13 (1):1-12.

GETTLE, R. M., GEORGE, J. R., BLANCHET, K. M., BUXTON, D. R. and MOORE, K. J. 1996. Frost-seeding legumes into established switchgrass: Establishment, density, persistence, and sward composition.

GOMEZ, P. O., ROSSO, O., CHIFFLET DE VERDE, S. y AELLO, M. S. 1981. El agropiro como complemento de las pasturas naturales en los sistemas de cría de la depresión del salado. Revista Argentina de Producción Animal 1 (1): 33-39.

GOULD, F. W. Y SHAW, R. B., 1992. Gramíneas. Clasificación Sistemática. E. AGT., S.A. Mexico. pp. 103-107.

GRIME, J. P. and CURTIS, A. V., 1976. The interaction of drought and mineral nutrient stress in calcareous grassland. The Journal of Ecology 64 (3): 975-988

HARA, T. 1992. Effects of the mode of competition on stationary size distribution in plant populations. Annals of Botany 69: 509-513.

HARPER, J. L. 1977. Population Biology of Plants. Academic Press, EE.UU. 892 pp.

HARRIS, W. 1970. Competition effects on yield and plant and tiller density in mixtures of ryegrass cultivars. Proceedings of the New Zealand Ecological Society vol 17.

HAYNES, R. J. 1980. Competitive aspects of the grass-legume association. Advances in Agronomy 33: 227-256.

HERNÁNDEZ, O. A. y FUNES, E. 1990. Influencia de la densidad de siembra y la época de utilización en centeno sobre el rendimiento de forraje y el porcentaje de nitrógeno. Revista Argentina de Producción Animal 10: 317-323.

HERNÁNDEZ, O. A. y LEMES, J. L. 1989. Efecto de la densidad de siembra y el control de malezas en alfalfa sobre el rendimiento de forraje, la densidad de plantas, el diámetro de la raíz principal y el peso de las plantas. *Revista Argentina de Producción Animal* 9: 169-180.

HODGSON, J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science* 34:11-18.

HOFF Y MEDERSKI, 1960. Effect of equidistant corn plant spacing on yield *Agronomy Journal* 52: 295-297.

HOLMGREN, M. 2000. Combined effects of shade and drought on tulip poplar seedlings: trade-off in tolerance or facilitation? *Oikos* 90: 67-78.

HOVELAND, C. S., ALISON, JR. M. W., CALVERT, G. V., NEWSOME, J. F., DOBSON, JR. J. W. and FISHER, C. D. 1986. Perennial cool-season grass-legume mixtures in North Georgia. Bull. 339. Ga. Agric. Exp. Stn., Athens.

HSIAO, T.C. and JING, J.H. 1987. Leaf and root expansive growth in response to water deficits. In: Cosgrove D. J., Knievel, D. P., eds. *Physiology of cell expansion during plant growth*. The American society of plant physiologists, 180-192.

INDEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS). 2007. "Sector agropecuario: Agricultura. Superficie implantada de forrajeras perennes por cultivo. Según provincia 2001". Buenos Aires: INDEC. Última fecha de acceso: 10 de mayo, 2008. (<http://www.indec.mecon.ar/>)

JEFFERSON, P. G. and KIELLY, G. A. 1998. Reevaluation of row spacing/plant density of seeded pasture grasses for the semiarid prairie. *Canadian journal of plant science* 78 (2): 257-264.

KAYS, S. and HARPER, J. L. 1974. The regulation of plant and tiller density in a grass sward. *The Journal of Ecology* 62 (1): 97-105.

KILCHER, M. R., HEINRICHS, D. H. and LODGE, R. W. 1976. Row spacings of russian wildrye for fall pasture in southern Saskatchewan. *Journal of Range Management* 29 (3): 237-240.

KUNELIUS, H. T., HARRIS, W., HENDERSON, J. D. AND BAKER, C. J. 1982. Comparison of tillage methods on red clover and ryegrass establishment and production under grazing in the establishment year. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 10: 253-263.

LASKEY, B. C. and WAKEFIELD, R. C. 1978. Competitive effects of several grass species and weeds on the establishment of birdsfoot trefoil. *Agronomy Journal* 70:146-148.

LAUNCHBAUGH, J. L. and OWENSBY, C. E. 1970. Seeding rate and first-year stand relationships for six native grasses. *Journal of Range Management*, 23 (6): 414-417.

MARINO, M.A., COVACEVICH, F., BORRAJO, C.I., AGNUSDEI, M. y ECHEVERRIA, H.E. 2000. Establecimiento de agropiro y festuca en el sudeste bonaerense - Argentina: efecto de dosis y fuente de fósforo. Reunión Latinoamericana de Producción Animal – Montevideo, Uruguay. CD-ROM Área Forrajeras 2000. dat.num.

MAAS, E. V. 1986. Salt tolerance of plants. *Appl. Agric. Research* 1: 12-26.

MARSHALL, G. C. and OHM, H. W. 1987. Yield responses of 16 winter-wheat cultivars to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal* 79 (6): 1027-1030.

MATTEW, C., LEMAIRE, G., SACKVILLE HAMILTON, N. R. and HERNANDEZ-GARAY, A. 1995. A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. *Annals of Botany* 76: 579-587.

MAZZANTI, A., CASTAÑO, J., SEVILLA, G. H. y ORBEA, J. R. 1992. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al sudeste de la provincia de Buenos Aires. Manual de descripción. CERBAS. INTA. pp. 32-33.

McWILLIAM, J. R., CLEMENTS, R. J. and DOWLING, P. M. 1970. Some factors influencing the germination and early seedling development of pasture plants. *Australian Journal Agricultural Research* 21: 19-32.

MUNNS, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment* 25 (2): 239–250.

MUNNS, R., PASSIOURA, J. B., GUO, J., CHAZEN, O. and CRAMER, G. R. 2000. Water relations and leaf expansion: importance of time scale. *Journal of Experimental Botany* 51 (350): 1495-1504.

NICORA, E. G. 1978. Gramíneas. Parte III. En: Correa, M. N. *Flora Patagónica. Colección científica del INTA*. pp. 453-461.

OJUEZ, C. A. y SIOLOTTO, R. 2006. Evaluación productiva de distintos métodos de implantación de especies forrajeras en suelos de aptitud ganadera encharcables. INTA Cambio Rural Bolívar. (<http://www.produccion-animal.com.ar>).

ONG, C. K. 1978. The physiology of tiller death in grasses. 1. The influence of tiller age, size and position. *Grass and Forage Science* 33 (3): 197-203.

ONG, C. K., MARSHALL, C. and SAOAR G. R. 1978. The physiology of tiller death in grasses. 2. Causes of tiller death in a grass sward. *Grass and Forage Science* 33 (3): 205–211.

ONG, C. K. and MARSHALL, C. 1979. The Growth and Survival of Severely-shaded Tillers in *Lolium perenne* L. *Annals of Botany* 43: 147-155.

PARODI, L. R. (ampliado y actualizado por Dimitri, M. J.) 1972. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Ed. ACME S.A.C.I. Bs. As. pp. 149-151.

PARSONS, A. J. 1988. The effects of season and management on the growth of grass swards. In: *The grass crop: The physiological basis of production*. Jones, M. B. and Lazenby, A. (ed). Chapman and Hall. p. 129-178.

PEACOCK, J. M. 1975 c. Temperature and leaf growth in *lolium perenne*. III. Factors affecting seasonal differences. *Journal Appl. Ecol.* 12: 685-697.

PRAAT J. P. 1995. Row spacing and seeding rate interactions in perennial ryegrass and tall fescue swards established by direct drilling (no tillage). Tesis Ph.D. Massey University. Palmerston North. New Zealand. 278p.

RIES, R. E. and SVEJCAR, T. J. 1991. The grass seedling: When is it established? *Journal of Range Management* 44 (6): 574-576.

RITCHIE, W. R. 1986a. Pasture renovation by overdrilling. *Proceeding of the New Zealand grassland association* 47: 159-164.

ROBINSON, G. G. and DOWLING, P. M. 1985. The effect of proportion of sown grasses on pasture and animal production from fertilised pastures on the Northern Tablelands of New South Wales. *The Australian Rangeland Journal* 7(2): 88-92.

ROBSON, M. J., RYLE, G. J. A. and WOLEDGE, J. 1988. The grass plant – its form and function. In: Jones B. J. and Lazenby A. eds *The grass crop. The physiological basis of production*. London New York Chapman and Hall. pp. 25-84.

SAGAR, G. R. and MORTIMER, A. M. 1976. An approach to the study of the population dynamics of plants with special reference to weeds. In Coaker, T. H. ed. *Applied Biology*, Academic Press, New York. pp. 1-47.

SAS INTITUTE. 2004. *The SAS system for windows. release 8.0*. SAS Institute, Cary. NC.

SCHENEITER, O. 2006. Efecto del sistema y densidad de siembra sobre la implantación de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkw. and Dewey)) En "Reunión Anual sobre Forrajeras: Novedades en Mejoramiento Genético y Producción de Pasturas". Pergamino. 26 de octubre. 6 p.



SCHENEITER, O. 2007. Implantación de pasturas en suelos ganaderos. En Curso "Como optimizar la producción y utilización forrajera en suelos ganaderos". Pergamino. 24 y 31 de agosto. pp: 54-62.

SEILER, R. A. 2007. Cambio climático y variabilidad climática: necesidad de nuevas estrategias de adaptación en los sistemas de producción ganadera. Revista Argentina de Producción Animal 27 (2): 99-111.

SEVILLA, G. H. Y FERNANDEZ, O. N. 1991. Leguminosas forrajeras herbáceas. Emergencia y establecimiento de plántulas. Revista Argentina de Producción Animal 11 (4): 419-429.

SHARRATT, B. S. and MCWILLIAMS, D. A. 2005. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row Corn. Agronomy Journal 97:1129-1135.

SHELDRIK, R. D. 2000. Sward establishment and renovation. In: Hopkins, A. eds. Grass its production and utilization. Third edition. Institute of Grassland and Environmental Research, North Wyke Okehampton Devon, UK. pp. 13-30.

SHIBLES, R. M. and WEBER, C. R. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. Crop Science 6:55-59.

SHUMWAY, S. W. 2000. Facilitative effects of a sand dune shrub on species growing beneath a shrub canopy. Oecologia 124: 138-148.

SKINNER, R. H. 2005. Emergence and survival of pasture species sown in monocultures or mixtures. Agronomy Journal 97: 799-805.

SLETVOLD, N. 2005. Density-dependent growth and survival in a natural population of the facultative biennial *Digitalis purpurea*. Journal of Ecology 93 (4): 727-736.

SMETHAM, M. L., MCKENZIE, B. A. and AYALSEW, Z. A. 1995. Establishment and productivity of three perennial grass species overdrilled into lucerne. New Zealand Journal of Agricultural Research 38: 85-94

SMITH, B. C., AKHANDA, A. M., GREEN, V. E. and PRINE, G. M. 1981. Early planted oilseed sunflower cultivars grown at the three row spacing and plant populations in North Florida. Soil Crop Sci. Soc. Florida 40: 165-171.

SPIERTZ, J. H. J. and ELLEN, J. 1972. The effect of light intensity on some morphological and physiological aspects of the crops perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. val "Cropper") and its effect on seed production. Neth. J. of Agric. Sci. 20: 232-246.

STEINER, J. L. 1986. Dryland grain sorghum water use, light interception, and growth response to planting geometry. Agronomy Journal 78 (4): 720-726.

TABOADA, M. A., RUBIO, G. AND LAVADO, R. S. 1998. the deterioration of tall wheatgrass pasture on saline sodis soils. Journal of Range Management, 51: 241-246.

TADMOR, N. H. and COHEN, Y. 1968. Root elongation in the preemergence stage of mediterranean grasses and legumes. Crop Science 8:416-419

TEASDALE, J. R. 1995. Influence of narrow row/high population corn (*Zea mays*) on weed control and light transmittance. Weed Technology 9 (1): 113-118

TETIO-KAGHO, F. and GARDNER, F. P. 1988. Responses of maize to plant population density. I. Canopy development, light relationships, and vegetative growth. Agronomy Journal 80:930-935

TRÁPANI, N. and HALL, A.J., 1996. Effects of level of insertion and nitrogen supply on the expansion of leaves of field-grown sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant Soil 184: 331-340.

VALENTINUZ, O. R. y TOLLENAAR, M. 2006. Effect of genotype, nitrogen, plant density, and row spacing on the area-per-leaf profile in maize. Agronomy Journal 98: 94-99.

VEGA, C. R. C. y ANDRADE, F. H. 2002. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. En: Andrade, F. H. y Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. E.E.A. INTA Balcarce – F.C.A. pp. 97-135.

VIJAYALAKSHMI, K., SANGHI, N.K., PELTON, W.L. and ANDERSON, C.H., 1975. Effect of plant population and row spacing in sunflower agronomy. Can. J. Plant Science 55: 491-499.

VOGEL, K. P. y MOORE, J. 1998. Forage yield and quality of tall wheatgrass acesions in the USDA germplam collection. Crop Science 38: 509-512.

VOLENEC, J. J. AND NELSON, C. J. 1983. Responses of tall fescue leaf meristems to N fertilization and harvest frequency. Crop Science 23:720-724.

WEDDERBURN, M. E., ADAM, K. D., GREAVES, L. A. and CARTER, J. L. 1996. Effect of oversown ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*) on the genetic structure of New Zealand hill pastures. New Zealand Journal of Agricultural Research 39: 41-52

WEINER, J. 1990. Asymmetric competition in plant populations. Trends in Ecology and Evolution 5: 360-364.

WEINER, J. and THOMAS, S.C. 1992. Competition and allometry in three species of annual plants. Ecology 73: 648-656.

WHALLEY, R. R. D., MCKELL, C. M. and GREEN, L. R. 1966. Seedling vigor and the early nonphotosynthetic stage of seedling growth in grasses. Crop Science 6: 147-150.

WHITE, J. AND HARPER, J. L. 1970. Correlated changes in plant size and number in plant populations. The Journal of Ecology 58 (2): 467-485.

WHYTE, R.O., MOIR T.R.G. and COOPER J.P. 1959. Grasses in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 417 p.

WOODMAN, R. F. and LOWTHER, W. L. 1998. Establishment and growth of grasses overdrilled into cloverdeveloped, montane tussock grasslands. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 41: 463-475.

ZAFFARONI, E. and SCHNEITER, A. A. 1989. Water-use efficiency and light interception of semi dwarf and standard-height sunflower hybrids grown in different row arrangements. *Agronomy Journal* 81:831-836.